

**PEMANFAATAN LUMPUR SEDIMENTASI PDAM
SEBAGAI MATERIAL *MULTI SOIL LAYERING* (MSL)
DALAM DEGRADASI PENCEMAR LIMBAH CAIR
INDUSTRI TAHU**

TUGAS AKHIR

Diajukan oleh:

**AMA MULLAH
NIM.190702066**

**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

**PEMANFAATAN LUMPUR SEDIMENTASI PDAM SEBAGAI
MATERIAL *MULTI SOIL LAYERING* (MSL) DALAM DEGRADASI
PENCEMAR LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU**

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:

AMA MULLAH

NIM. 190702066

Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry

Disetujui untuk dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc.

NIDN. 2013128901

Dr. Eng. Nur Aida, M.Si

NIDN. 2016067801

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Lingkungan

AR - RANIRY

Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.

NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

**PEMANFAATAN LUMPUR SEDIMENTASI PDAM SEBAGAI
MATERIAL *MULTI SOIL LAYERING* (MSL) DALAM DEGRADASI
PENCEMAR LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU**


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
Jumat/ 6 Dzulqaidah 1444

Panitia Ujian Munqasyah Skripsi


Ketua


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


Penguji I


Teuku Muhammad Ashari, S.T., M.Sc.
NIDN. 2002028301

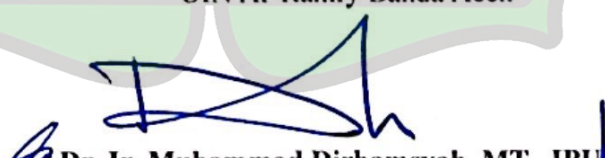
Sekretaris


Dr. Eng. Nur Aida, M.Si
NIDN. 2016067801

Penguji II


M. Faisi Ikhwal, M.Eng.
NIDN. 2008109101

Mengetahui,
A R 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 : Ama Mullah
NIM : 190702066
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Pemanfaatan Lumpur Sedimentasi PDAM sebagai Material *Multi Soil Layering* (MSL) dalam Degradasi Pencemar Limbah Cair Industri Tahu

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya dan tidak memanipulasi dan memalsukan data.

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 melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 26 Mei 2023

Yang Menyatakan

 Ama Mullah

ABSTRAK

Nama : Ama Mullah
NIM : 190702066
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Pemanfaatan Lumpur Sedimentasi PDAM sebagai Material *Multi Soil Layering* (MSL) dalam Degradasi Pencemar Limbah Cair Industri Tahu
Tanggal Sidang : 26 Mei 2023
Jumlah : 85
Halaman :
Pembimbing I : Dr. Abd Mujahid Hamdan M.Sc.
Pembimbing II : Dr. Eng. Nur Aida, M.Si
Kata Kunci : Limbah cair Industri Tahu, *Multi Soil Layering* (MSL), Zeolit, Silikon dioksida dan Aluminium oksida

Multi Soil Layering (MSL) adalah metode pengolahan limbah cair yang memanfaatkan tanah sebagai media utama. Metode MSL telah diaplikasikan di berbagai negara maju seperti Cina dan Jepang pada berbagai sektor termasuk limbah domestik dan limbah industri. Selain menggunakan tanah sebagai media utama, dapat juga memanfaatkan media lain, salah satunya adalah lumpur sedimentasi (PDAM) dan efektivitasnya terbukti tinggi dalam mendegradasi kadar pencemar pada limbah cair. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas metode MSL dalam mendegradasi pencemar pada limbah cair industri tahu dengan dua variasi, yaitu variasi nilai *Hydraulic Loading Rate* (HLR) dan variasi nilai *Hydraulic Retention Time* (HRT). Hasil penelitian menunjukkan, nilai HLR 11,48 L/m²/jam, 4,76 L/m²/jam dan 2,48 L/m²/jam tingkat efektivitas paling tinggi terjadi pada HLR 2,48 L/m²/jam. Perubahan pH dan DO menjadi 7,4 dan 19,5 mg/L dan efektivitas nilai TSS mencapai 76,32%, degradasi nilai TDS mencapai 75,21 %, degradasi kekeruhan mencapai 99,69% dan degradasi COD mencapai 99,66. Pada nilai HRT 4 jam, 6 jam, 8 jam, 10 jam dan 12 jam, tingkat efektivitas variasi HRT paling tinggi terjadi pada waktu 12 jam yang menunjukkan nilai perubahan pH dan DO menjadi 19,5 mg/L dan menjadi 7,5 dan efektivitas degradasi nilai COD mencapai 98,95%, degradasi

nilai BOD mencapai 51.11%, dan degradasi TSS mencapai 73,7%. Berdasarkan hasil yang diperoleh, menunjukkan bahwa metode MSL dengan material lumpur sedimentasi PDAM mampu mendegradasi kadar pencemar industri tahu.



ABSTRACT

Name : Ama Mullah
NIM : 190702066
Study Program : Environmental Engineering
Title : Utilization of PDAM Sedimentation Sludge as Multi Soil Layering (MSL) Material in Degradation of Tofu Industry Liquid Waste Contaminants
Session Date : 26 May 2023
Number of pages : 85
Advisor I : Dr. Abd Mujahid Hamdan M.Sc.
Advisor II : Dr. Eng. Nur Aida, M.Si
Keywords : Liquid waste, Tofu industrial wastewater, Multi Soil Layering (MSL), Zeolite, Silicon dioxide and Aluminium oxide

Multi Soil Layering (MSL) is a procedure for treating liquid waste that employs soil as its primary medium. In numerous developed nations, including China and Japan, the MSL method has been implemented in various sectors, including municipal and industrial refuse. In addition to using soil as the primary medium, other media, such as sedimentation sludge (PDAM), have been shown to be highly effective at degrading pollutant levels in liquid waste. This study seeks to determine the efficacy of the MSL method in degrading contaminants in tofu industrial wastewater with two variations: Hydraulic Loading Rate (HLR) and Hydraulic Retention Time (HRT) values. The results revealed that the HLR values were 11.48 L/m²/hour, 4.76 L/m²/hour, and 2.48 L/m²/hour, with 2.48 L/m²/hour exhibiting the highest level of effectiveness. The pH and DO values changed to 7.4 and 19.5 mg/L, respectively, and the TSS value effectiveness reached 76.32%, the TDS value degradation reached 75.21%, the turbidity degradation reached 99.69%, and the COD degradation reached 99.66. At the HRT values of 4 hours, 6 hours, 8 hours, 10 hours, and 12 hours, the effectiveness level of the greatest HRT variation occurred at 12 hours, where the value of changes in pH and DO became 19.5 mg/L and became 7.5, and the

effectiveness COD value degradation reached 98.95%, BOD value degradation reached 51.11%, and TSS degradation reached 73.5%. The obtained results indicate that the MSL method with PDAM sedimentation waste material is capable of reducing pollutant levels in the tofu manufacturing industry.



KATA PENGANTAR

Puji syukur saya ucapkan kepada Allah Swt. atas rahmat dan karunia-Nya, tak lupa selawat beriringkan salam saya sanjungkan kepada baginda Nabi Muhammad saw. Dengan mengucapkan syukur kepada Allah Swt. sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pemanfaatan Lumpur Sedimentasi PDAM Material *Multi Soil Layering* (MSL) dalam Degradasi Pencemar Limbah Cair Industri Tahu”.

Adapun maksud dan tujuan penulisan tugas akhir ini adalah untuk memenuhi salah satu syarat wajib pada kurikulum Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh untuk meraih gelar Sarjana Teknik Lingkungan.

Selama proses penyusunan Tugas Akhir ini penulis menyadari bahwa tugas akhir ini sangat sulit terbentuk tanpa adanya dukungan, bimbingan, serta doa dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Maka dari itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak atas segala dukungan, bimbingan, serta doa selama proses penelitian dan penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih disampaikan kepada:

1. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU, selaku Dekan di Fakultas Sains dan teknologi.
2. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc. selaku Kepala Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Bapak Aulia Rohendi, ST., M.Sc. selaku sekretaris Prodi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
4. Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc. Selaku Pembimbing Akademik dan Dosen Pembimbing I tugas akhir yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingan dalam penulisan.
5. Dr. Eng. Nur Aida, M.Si, selaku Dosen Pembimbing II tugas akhir yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingan dalam penulisan.

6. Bapak Arief Rahman, M.T., selaku Kepala Laboratorium Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
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 Prodi Teknik Lingkungan yang telah banyak membantu dalam pengurusan pelaksanaan penelitian di laboratorium.
9. Saudari Dwi Ardianna Arsa, S.T. selaku asisten dosen pembimbing tugas akhir.
10. Aisha Shakira, Chalid Mucharrabin, Hidayatullah, Lutfi, Sayed Abdul Jabbar, Ayu Suriani dan Zarifatul Maufunna selaku rekan yang telah membantu dan memberikan semangat dalam penyusunan tugas akhir.

Penulis berharap Allah SWT akan membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu. Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan yang dimiliki penulis. Maka dari itu, kritik serta saran yang membangun sangat diharapkan sehingga penulis dapat melakukan perbaikan dalam penulisan tugas akhir ini. Akhir kata, semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dan menambah pengetahuan serta informasi bagi pihak yang berkepentingan.

Banda Aceh, 12 Mei 2023

Penulis,

Ama Mullah

DAFTAR ISI

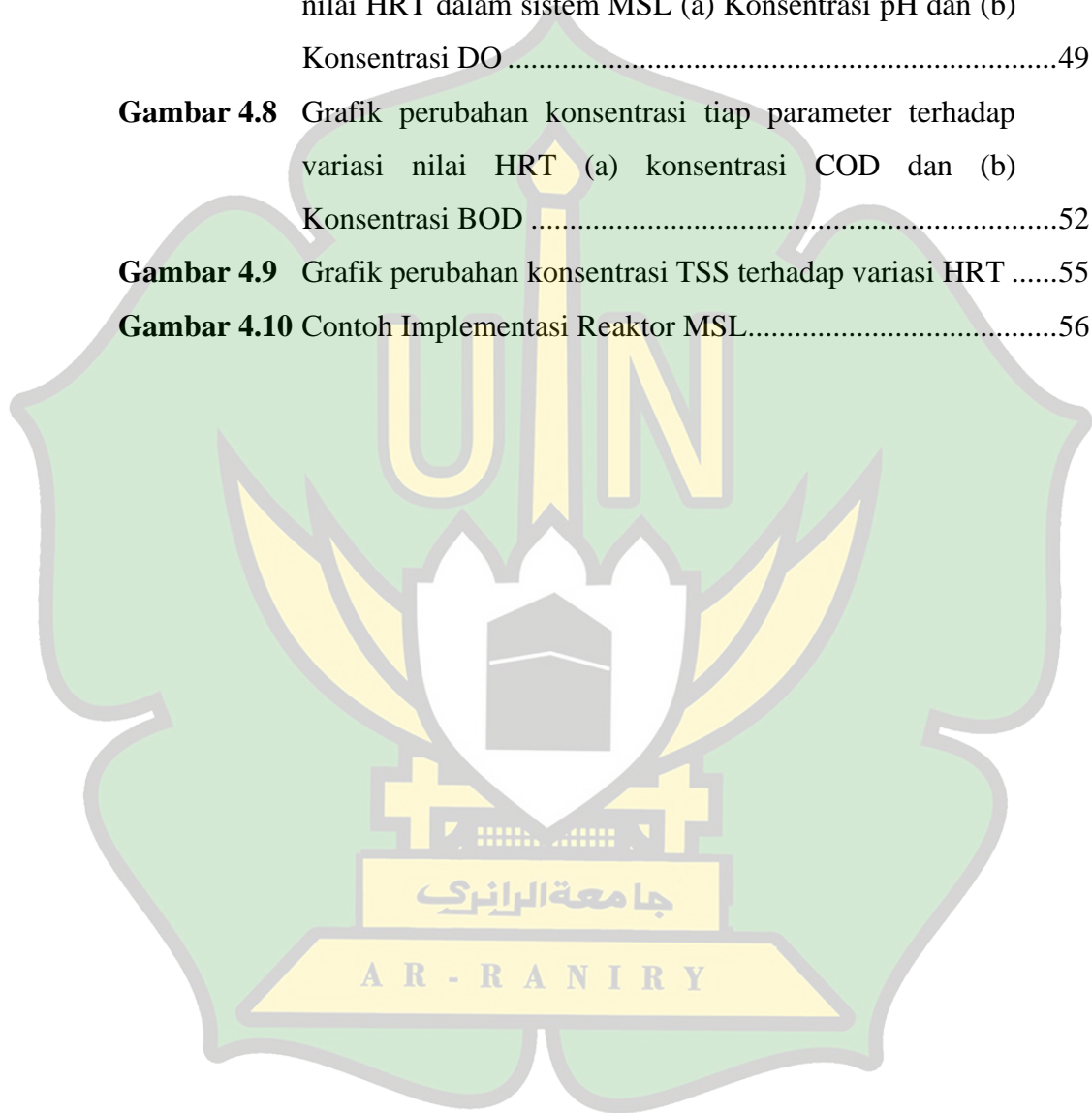
LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Limbah Cair Industri Tahu.....	7
2.2 Metode <i>Multi Soil Layering</i>	7
2.3 Material MSL.....	9
2.3.1 Lapisan <i>Permeable</i>	9
2.3.2 <i>Soil Mix Block</i> (SMB)	10
2.4 Mekanisme Cara Kerja MSL	10
2.5 Parameter Air Limbah.....	12
2.6 Siklus Operasi MSL	13
2.7 Penelitian Terdahulu	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Tahapan Penelitian.....	17
3.2 Jenis Penelitian.....	19
3.3 Lokasi Pengambilan Sampel.....	19

3.4	Eksperimen	22
3.4.1	Jenis Eksperimen Penelitian	22
3.4.2	Alat dan Bahan Penelitian	23
3.4.3	Desain Reaktor	24
3.4.4	Prosedur Pembuatan SMB.....	26
3.5	Metode Sampling Air Limbah	29
3.5.1	Prosedur Pengujian Sampel.....	30
3.6	Prosedur Eksperimen	34
3.7	Analisis <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) Lumpur Sedimentasi PDAM.....	36
3.8	Analisis Data.....	36
3.8.1	Pengukuran Efektivitas.....	36
3.8.2	Pengolahan Data Melalui SPSS.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		38
4.1	Hasil Analisis Mineralogi Lumpur Sedimentasi PDAM	38
4.2	Efektivitas Sistem MSL variasi <i>Hydraulic Loading Rate</i> (HLR).....	39
4.3	Efektivitas Sistem MSL variasi <i>Hydraulic Retention Time</i> (HRT)	48
BAB V PENUTUP.....		57
A.	Kesimpulan	57
B.	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA.....		58
LAMPIRAN.....		67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	18
Gambar 3.2	Peta Lokasi Pengambilan Sampel	20
Gambar 3.3	Air limbah hasil produksi	21
Gambar 3.4	Saluran pipa pembuangan air limbah industri tahu yang terhubung ke sungai Krueng Neng	21
Gambar 3.5	Proses produksi tahu	22
Gambar 3.6	Desain Reaktor MSL	25
Gambar 3.7	Reaktor Eksperimen	25
Gambar 3.8	Desain bak <i>clarifier</i>	26
Gambar 3.9	Lumpur pada bak <i>clarifier</i>	27
Gambar 3.10	Proses pengambilan lumpur	27
Gambar 3.11	Proses pengeringan lumpur	28
Gambar 3.12	Lumpur hasil pengeringan	28
Gambar 4.1	Kurva Difraktogram hasil pengukuran XRD mineral SiO_2 dan Al_2O_3	38
Gambar 4.2	Limbah cair industri tahu (a) sebelum eksperimen; (b) sedimentasi awal; (c) HLR 11,48 $\text{L}/\text{m}^2/\text{Jam}$; (d) HLR 4,76 $\text{L}/\text{m}^2/\text{jam}$ dan (e) HLR 2,48 $\text{L}/\text{m}^2/\text{jam}$	40
Gambar 4.3	Grafik perubahan konsentrasi pH dan DO terhadap variasi nilai HLR dalam sistem MSL (a) Konsentrasi pH dan (b) Konsentrasi DO.	41
Gambar 4.4	Grafik perubahan konsentrasi parameter terhadap variasi nilai HLR (a) Konsentrasi TSS; (b) Konsentrasi TDS dan (c) Konsentrasi kekeruhan	44
Gambar 4.5	Grafik perubahan konsentrasi COD terhadap variasi nilai HLR	47

Gambar 4.6	Limbah cair industri tahu (a) sebelum pengolahan; (b) HRT 4 jam; (c) HRT 6 jam; (d) HRT 8 jam; (e) HRT 10 jam dan (f) HRT 12 jam	48
Gambar 4.7	Grafik perubahan konsentrasi pH dan DO terhadap variasi nilai HRT dalam sistem MSL (a) Konsentrasi pH dan (b) Konsentrasi DO	49
Gambar 4.8	Grafik perubahan konsentrasi tiap parameter terhadap variasi nilai HRT (a) konsentrasi COD dan (b) Konsentrasi BOD	52
Gambar 4.9	Grafik perubahan konsentrasi TSS terhadap variasi HRT	55
Gambar 4.10	Contoh Implementasi Reaktor MSL.....	56



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Baku Mutu Air Limbah.....	7
Tabel 2.2	Penelitian Terdahulu Mengenai Multi Soil Layering (MSL).....	15
Tabel 3. 1	Hasil uji pendahuluan.....	19
Tabel 3. 5	Bahan-Bahan SMB.....	29
Tabel 4.1	Hasil dan Efektivitas (%) pH dan DO sesudah perlakuan dengan variasi nilai HLR	40
Tabel 4.2	Hasil dan Efektivitas (%) pengukuran TSS, TDS dan kekeruhan sesudah perlakuan variasi nilai HLR	43
Tabel 4.3	Hasil dan Efektivitas (%) pengukuran COD sesudah perlakuan variasi nilai HLR	46
Tabel 4.4	Hasil dan Efektivitas (%) pengukuran pH dan DO sesudah perlakuan dengan variasi nilai HRT	48
Tabel 4.5	Hasil dan Efektivitas (%) pengukuran COD dan BOD sesudah perlakuan dengan variasi nilai HRT	51
Tabel 4.6	Hasil dan Efektivitas (%) pengukuran TSS sesudah perlakuan dengan variasi nilai HRT	51

جامعة الرانري

AR - RANIRY

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan/Lambang	Kepanjangan/Makna	Halaman Pertama Digunakan
Al ₂ O ₃	<i>aluminium oxide</i>	4
BOD	<i>biological oxygen demand</i>	1
COD	<i>chemical oxygen demand</i>	1
DO	<i>dissolved oxygen</i>	1
HLR	<i>hydraulic Loading Rate</i>	3
HRT	<i>hydraulic Retention Time</i>	3
H ₂ SO ₄	asam sulfat	22
MSL	<i>multi soil layering</i>	1
K ₂ Cr ₂ O	kalium dikromat	22
pH	<i>potential of hydrogen</i>	1
PDAM	Perusahaan Daerah Air Minum	3
SMB	<i>soil mixture block</i>	9
SNI	Standar Nasional Indonesia	28
SiO ₂	<i>silikon Dioksida</i>	4
TSS	<i>total suspended solid</i>	1
TDS	<i>total dissolved solid</i>	5
XRD	<i>x-ray difraksi</i>	4
XRF	<i>x-ray fluoresensi</i>	4



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri tahu adalah salah satu industri pangan yang berkembang pesat di Indonesia. Menurut Gabungan Koperasi Produsen Tempe Tahu Indonesia (Gakoptindo), pada tahun 2019, produksi tahu mencapai 1,4 juta ton per hari yang diproduksi oleh sekitar 30.000 unit produsen. Para produsen ini berasal dari 160 ribu pabrik yang tersebar di lebih dari 200 kabupaten dan kota di 27 provinsi di Indonesia. Produksi tahu juga berkembang pesat di Banda Aceh, menurut Purba dkk. (2020), produksi tahu di Banda Aceh setiap hari 500-600 kg atau setara dengan 45.360 papan.

Limbah industri tahu dibagi menjadi 2 (dua) jenis limbah, yaitu limbah padat dan limbah cair. Limbah padat pengolahan tahu berupa, kotoran hasil pembersihan kedelai seperti kulit kedelai dan sisa saringan bubur kedelai yang disebut dengan ampas tahu. Sedangkan limbah cair hasil produksi tahu berasal dari perendaman, pencucian kedelai, penyaringan dan pencetakan tahu. Sebagian besar limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu adalah cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu yang disebut air dadih (Gustiana dan Widayatno, 2020). Limbah cair tahu mengandung senyawa organik dalam limbah cair tahu mencapai 40-60% protein, 25-50% karbohidrat, dan 10% lemak, yang menyebabkan limbah cair tahu memiliki nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Total Suspended Solid* (TSS) yang tinggi (Zein dkk., 2020).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa limbah cair tahu memiliki nilai COD, BOD dan TSS yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup melalui Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 tentang Kegiatan Industri Tahu. Sebagai contoh, studi yang dilakukan oleh Armi (2019) di salah satu pabrik tahu di Banda Aceh, pengolahan 100 kg kedelai dapat menghasilkan limbah cair sebanyak 150-430 liter perhari dengan nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sebesar 2.800 - 4.300 mg/L, *Total*

Suspended Solid (TSS) sebesar 615 – 629 mg/L, pH 3,4-3,8 dan *Dissolved Oxygen* (DO) 1,5-2,2 mg/L. Studi lain juga menunjukkan temuan serupa, diantaranya studi yang dilakukan oleh Soviana dkk. (2020) menunjukkan bahwa limbah tahu memiliki nilai COD sebesar 1175 mg/L, nilai BOD sebesar 400 mg/L, dan nilai TSS sebesar 615 mg/L, dan studi yang dilakukan oleh Prayitno dkk. (2020) menunjukkan bahwa limbah cair tahu memiliki nilai BOD 1.500–4.000 mg/L, COD 3.300 – 7.500 mg/L, dan TSS 400 – 1.500 mg/L. Oleh karena itu, limbah cair tahu memerlukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan sekitar.

Proses pengolahan limbah cair industri terutama pada sektor industri rumah tangga seperti tahu masih dianggap mahal. Hal ini disebabkan oleh biaya pengolahan limbah yang lebih tinggi daripada biaya produksi, sehingga industri kecil hingga menengah cenderung membuang air limbah dari proses produksi langsung ke badan air tanpa proses pengolahan (Idrus dkk., 2021). Praktik pembuangan limbah cair ke sungai dapat menyebabkan dampak fatal pada ekosistem air sungai, seperti tercemarnya ekosistem biologis dan penurunan kualitas air akibat tingginya kadar senyawa organik dalam limbah cair (Pangestu dkk., 2021). Salah satu metode pengolahan limbah cair yang ramah lingkungan dan murah biayanya adalah *Multi Soil Layering* (MSL), yang menggunakan tanah sebagai bahan utama pengolahan dan mudah dalam pengaplikasian serta pengontrolan (Aba dkk., 2021).

Multi Soil Layering (MSL) adalah metode pengolahan limbah cair yang memanfaatkan tanah sebagai media utama. Konstruksi MSL terdiri dari lapisan campuran tanah (*Soil Mixture Block*) dan lapisan batuan yang membentuk sebuah susunan batu bata (Karima dkk., 2022). Campuran tanah terdiri dari tanah, arang sebagai unsur karbon, material organik dan material tambahan seperti biji besi. Lapisan batuan dapat berupa kerikil, zeolit, perlit, atau kombinasi antara zeolit dan perlit, tergantung pada jenis batuan yang tersedia (Haribowo dkk., 2019). Proses pengolahan MSL terdiri dari beberapa tahap, seperti filtrasi, dekomposisi, adsorpsi, absorpsi, nitrifikasi, dan denitrifikasi

(Putra dan Fitri, 2019). Dengan banyaknya tahapan dalam metode MSL, pengolahan limbah cair dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien.

Metode MSL telah diaplikasikan di berbagai negara maju seperti Cina dan Jepang pada berbagai sektor termasuk limbah domestik dan limbah industri dan efektivitasnya terbukti tinggi dalam mengurangi kadar pencemaran pada limbah cair. Selain itu, metode MSL juga mulai diterapkan di Indonesia dan Thailand dengan efektivitas yang sama tingginya. Berdasarkan efisiensi yang tinggi dan biaya yang tidak mahal, diprediksi bahwa dalam beberapa tahun ke depan, metode MSL akan semakin banyak digunakan dalam berbagai sektor (Zaman dan Oktiawan, 2020).

Dalam sistem MSL, selain menggunakan tanah sebagai media utama, dapat juga memanfaatkan media lain untuk mendegradasi limbah, salah satunya adalah lumpur sedimentasi dari unit pengolahan Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Daroy merupakan sebuah perusahaan air minum yang diperuntukkan untuk masyarakat yang berada di kota Banda Aceh. PDAM Tirta Daroy dibangun sejak tahun 1972 dan diresmikan pada tahun 1979 oleh Presiden Soeharto. PDAM Tirta Daroy terletak pada Jalan Medan Banda Aceh, Km. 8.5, Meunasah Krueng, Want Jaya dan Aceh Besar dari sebelah timur kota Banda Aceh dengan luas area 15 Ha. PDAM Tirta Daroy memiliki kapasitas produksi sebesar 800 liter/detik yang bersumber dari sungai Krueng Aceh dengan unit pengolahan dimulai dari unit intake, menara distribusi, *clarifier*, pulsator, *sand filter*, dan reservoir.

Dalam tahapan sedimentasi pada unit *clarifier* lumpur dibuang kembali ke badan air. Lumpur hasil proses sedimentasi dari unit *clarifier* tidak dianalisis, setelah proses sedimentasi langsung dibuang ke drainase dan tidak diolah sebelum dibuang. Unit *clarifier* menghasilkan lumpur sedimentasi setiap 10 menit sekali dan lumpur yang dihasilkan per hari cukup banyak, oleh sebab itu pemanfaatan lumpur sedimentasi PDAM sebagai material dalam metode MSL merupakan salah satu alternatif yang baik untuk mengurangi pembuangan lumpur sedimentasi ke badan air. Praktik pembuangan langsung

lumpur PDAM tidak hanya di Indonesia, namun terjadi di beberapa negara berkembang seperti India dan Zimbabwe yang menimbulkan dampak buruk pada kualitas air dan kehidupan akuatik (Ahmad dkk., 2017).

Pembentukan endapan lumpur menyebabkan pencemaran badan air yang disebabkan oleh bahan kimia yang digunakan pada proses pengolahan air. Lumpur PDAM memiliki karakteristik yang serupa dengan zeolit, dengan kandungan silikon dioksida (SiO_2) sebesar 49,11% dan aluminium oksida (Al_2O_3) sebesar 29,45% (Ivontianti dkk., 2021). Kandungan aluminium pada lumpur sedimentasi PDAM memiliki efek yang merugikan pada berbagai spesies air tawar, termasuk ikan dan invertebrata, karena merusak fungsi osmoregulasi mereka (yaitu mempertahankan tekanan tubuh yang tepat dalam air dengan mengendalikan penyerapan garam dan ion dari air) (Shak dan Wu, 2017).

Dalam metode MSL, lumpur sedimentasi berfungsi sebagai tempat singgahan mikroorganisme (Ivontianti dkk., 2020). Pada penelitian menggunakan metode MSL yang dilakukan oleh Ivontianti dkk. (2021) lumpur sedimentasi dari unit pengolahan PDAM digunakan sebagai pengganti tanah pada proses pengolahan cair lindi dengan struktur lapisan zeolit berukuran 3 – 5mm dan campuran lapisan SMB yang terdiri dari lumpur sedimentasi dan arang. Lumpur sedimentasi PDAM berperan sebagai filter pada pori-pori zeolit yang halus sehingga meningkatkan luas permukaan adsorpsi dan terjadi peningkatan penyisihan zat organik dan zat tersuspensi. Dengan menurunkan ukuran pori-pori zeolit, filtrasi mampu menahan zat organik dan materi kecil dalam limbah cair. Sebelum pengolahan dengan MSL, konsentrasi amonia, pH, TSS dan COD adalah 88 mg/L, 7,7, 80 mg/L dan 832 mg/L masing-masing. Dalam penelitian ini, waktu tinggal optimum ditemukan selama 12 jam, sesuai dengan fase hidup mikroorganisme dimana sistem memasuki fase stasioner yang telah mencapai kestabilan. Efisiensi penurunan untuk masing-masing parameter pencemar adalah: Amonia 96,59%; pH 7,5; TSS 85% dan COD 44,83%. Hasil ini menunjukkan bahwa pemanfaatan lumpur sedimentasi

PDAM sebagai pengganti tanah mampu menurunkan kadar pencemar amonia, pH, TSS dan COD.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ivontianti dkk. (2021), terbukti bahwa lumpur sedimentasi PDAM efektif dalam mendegradasi pencemar pada limbah cair. Namun, penggunaan lumpur sedimentasi PDAM sebagai material MSL dalam pengolahan limbah cair industri tahu belum pernah diaplikasikan. Padahal, lumpur PDAM mengandung silikon dioksida (SiO_2) sebesar 49,11% dan aluminium oksida (Al_2O_3) sebesar 29,45% Ivontianti dkk. (2021) sehingga memiliki potensi yang tinggi dalam mendegradasi pencemar pada limbah cair tahu. Oleh karena itu, penelitian mengenai penggunaan lumpur sedimentasi PDAM dalam pengolahan limbah cair tahu menjadi inovasi penting yang perlu diteliti.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan rumusan masalah, yaitu:

1. Bagaimana efektivitas lumpur sedimentasi PDAM sebagai material *Multi Soil Layering* (MSL) dalam mendegradasi pencemar limbah cair industri tahu dengan variasi nilai HLR?
2. Bagaimana efektivitas lumpur sedimentasi PDAM sebagai material *Multi Soil Layering* (MSL) dalam mendegradasi pencemar limbah cair industri tahu dengan variasi nilai HRT?

1.3 Tujuan Penelitian - R A N I R Y

Berdasarkan perumusan masalah di atas, maka tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

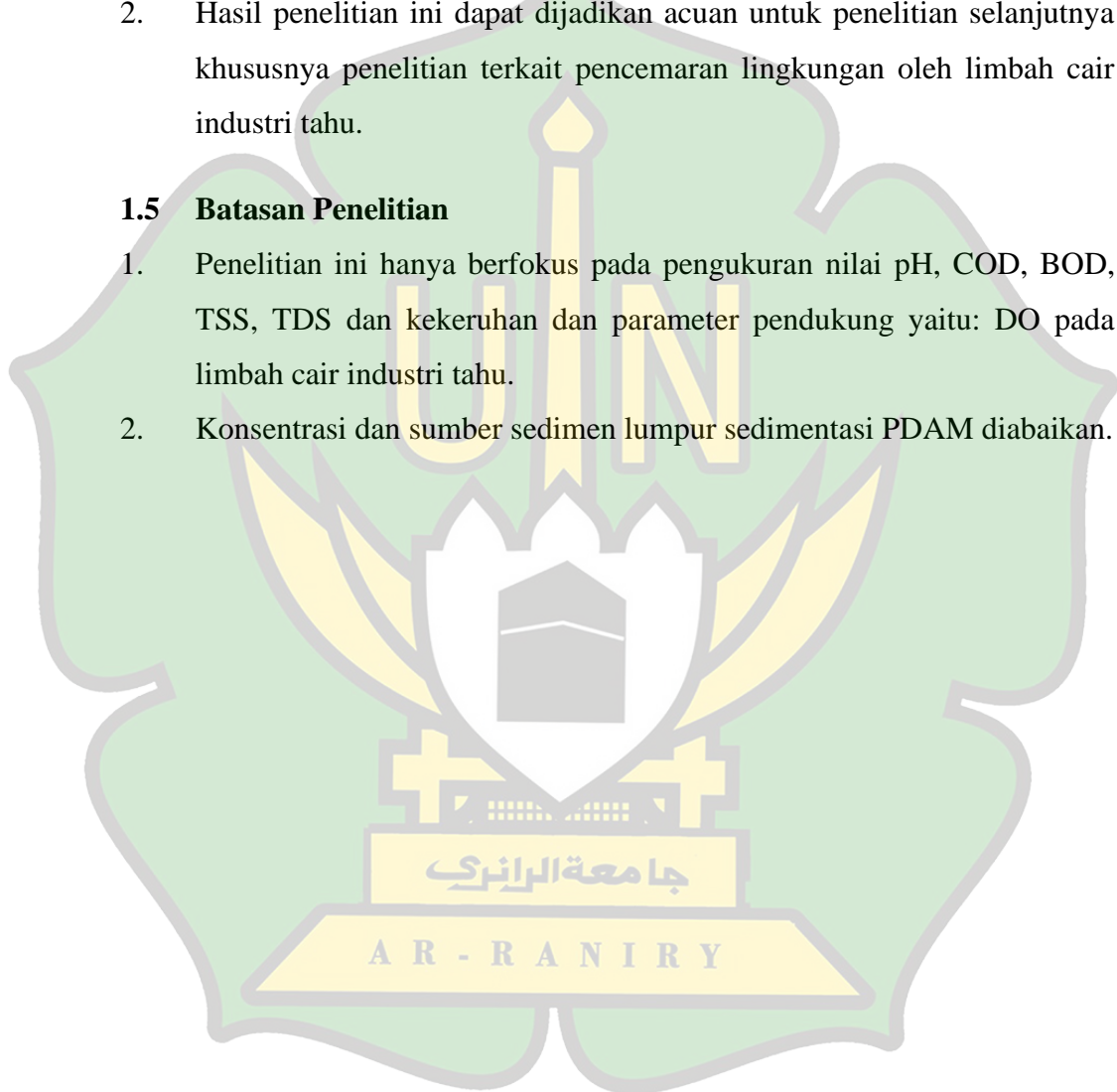
1. Untuk mengetahui efektivitas lumpur sedimentasi PDAM sebagai material *Multi Soil Layering* (MSL) dalam mendegradasi pencemar limbah cair industri tahu dengan variasi nilai HLR.
2. Untuk mengetahui efektivitas lumpur sedimentasi PDAM sebagai material *Multi Soil Layering* (MSL) dalam mendegradasi pencemar limbah cair industri tahu dengan variasi nilai HRT.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberi informasi tentang efektivitas pemanfaatan lumpur sedimentasi PDAM pada metode MSL dalam degradasi pencemar limbah cair industri tahu pada parameter pH, COD, BOD, TSS, TDS dan kekeruhan serta parameter pendukung yaitu: DO.
2. Hasil penelitian ini dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya khususnya penelitian terkait pencemaran lingkungan oleh limbah cair industri tahu.

1.5 Batasan Penelitian

1. Penelitian ini hanya berfokus pada pengukuran nilai pH, COD, BOD, TSS, TDS dan kekeruhan dan parameter pendukung yaitu: DO pada limbah cair industri tahu.
2. Konsentrasi dan sumber sedimen lumpur sedimentasi PDAM diabaikan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Industri Tahu

Limbah cair adalah air yang berasal dari aktivitas dan tidak lagi digunakan, seperti proses kegiatan industri, peternakan, dan sebagainya. Sebanyak 90% unsur pokok dari limbah cair adalah air, sementara 10% sisanya terdiri dari material padatan yang tergantung pada hasil buangan limbah (Sakti, 2021). Limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu mengandung kadar pencemaran yang tinggi dibandingkan dengan limbah padat dari hasil produksi (Cahyani dkk., 2021). Cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu dan disebut air dadih. Air dadih adalah jenis limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu (Sartika dkk., 2019). Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan atau Kegiatan Pengolahan Kedelai diatur dalam Peraturan Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 (Cookson dan Stirk, 2019).

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah

Parameter	Pengolahan Kedelai	
	Tahu	
	Kadar *) (mg/L)	Beban (kg/ton)
pH	6-9	
TSS	200	4
COD	300	6
BOD	150	3

Sumber. PERMEN LH No 5 Tahun 2014

2.2 Metode *Multi Soil Layering*

Metode *Multi Soil Layering* (MSL) adalah salah satu metode pengolahan air limbah yang menggunakan tanah sebagai bahan utamanya. Metode ini menggunakan beberapa lapisan campuran tanah dengan material organik seperti karbon, serbuk gergaji, serta lapisan batuan seperti zeolit, kerikil, perlit atau batu-batu yang tersedia di sekitar. Sistem kerja MSL dalam mengolah limbah cair terdiri dari beberapa tahapan yaitu dekomposisi, filtrasi, adsorpsi,

absorpsi, nitrifikasi, dan denitrifikasi Salmariza (2019) untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengolahan limbah cair. Lapisan tanah dan zeolit diatur dalam pola seperti bata untuk mencegah penyumbatan (Irmanto dkk., 2020). Metode MSL dikenal efisien dalam hal biaya, mudah diaplikasikan dan ramah lingkungan (Sitasari dan Khoironi, 2021).

Metode *Multi Soil Layering* (MSL) merupakan alternatif yang sangat efektif dalam mengurangi limbah. MSL lebih efektif dibandingkan dengan metode lain yang menggunakan bahan organik lainnya karena dapat mencakup hampir seluruh aspek, serta biayanya lebih murah dalam hal penggunaan lahan dan proses operasi alat yang memiliki risiko penyumbatan yang lebih kecil. Pengaplikasian MSL juga mudah dan ramah lingkungan serta memiliki masa pakai yang lebih lama (Sbahi dkk., 2020). MSL telah digunakan di beberapa negara untuk mengolah limbah cair, termasuk limbah cair domestik, industri, peternakan dan limbah cair kilang minyak (Salmariza, 2019).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, metode MSL telah diaplikasikan di Jepang dan Thailand. Di Jepang, metode MSL digunakan di sungai Uya kepulauan Oki untuk mengurangi pencemaran air sungai dan terbukti berhasil menurunkan kadar COD serta BOD pada air sungai sebanyak 90%. Sedangkan di Thailand, MSL digunakan untuk mereduksi kadar pencemaran limbah domestik di kantin dan toilet universitas Kasetsart. Sistem MSL mampu menurunkan kadar BOD sebesar 98,8% dan menurunkan kadar COD sebesar 93,6% (Haribowo dkk., 2019). Di negara berkembang, seperti Maroko, telah dilakukan percobaan MSL dengan material lapisan yang digunakan berasal dari bahan lokal. Cara kerja MSL memberikan hasil yang mampu menurunkan kadar pencemaran bahan organik. Berdasarkan hasil pengujian, MSL disimpulkan menjadi teknologi alternatif yang baik dalam mereduksi kadar pencemaran pada limbah di negara berkembang (Latrach dkk., 2017).

2.3 Material MSL

Multi Soil Layering (MSL) adalah metode pengolahan air limbah yang menggabungkan sistem filtrasi, adsorpsi dan proses membran dalam satu reaktor. Reaktor MSL terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan *impermeable* dan lapisan *permeable* (Kasman dkk., 2021). Lapisan *permeable* terdiri dari batuan, seperti kerikil, sementara lapisan *impermeable* terdiri dari campuran tanah, bahan organik dan arang dengan perbandingan ukuran 2:1 (Hadrah dkk., 2019).

Metode MSL menggunakan tanah yang dicampur dengan material organik seperti serbuk gergaji sebagai bahan utama. Campuran tanah dan material organik tersebut dibentuk menjadi blok atau *Soil Mixture Block* (SMB) yang disusun berlapis seperti batu bata. Lapisan *permeable* terdiri dari batuan seperti perlit, zeolit dan kerikil (Zein dkk., 2020). Lapisan SMB dapat menetralkan zat organik dalam air limbah industri tahu. Untuk meningkatkan proses penguraian zat organik, dilakukan penambahan oksigen melalui pipa aerasi. Lapisan batuan berfungsi untuk mencegah terjadinya penyumbatan aliran limbah cair (Zein dkk., 2020).

2.3.1 Lapisan *Permeable*

1. Zeolit

Zeolit adalah mineral yang terbentuk dari kation SiO_2 (silikon dioksida) dan oksida Al_2O_3 (aluminium oksida) yang terhubung dengan ion oksigen membentuk unit sekunder tiga dimensi dan dua dimensi. Mineral ini memiliki kemampuan untuk menghilangkan senyawa anorganik, organik, organometalik, gas, logam dan radionuklida dari zat cair melalui proses adsorpsi dan presipitasi permukaan (Selvina dkk., 2021). Dalam pengolahan limbah cair, zeolit terbukti efektif dalam mengurangi kadar pencemar dengan tingkat efektivitas mencapai 97,96% (Nugraha dkk., 2021).

2. Kerikil

Dalam pengolahan limbah, kerikil memiliki manfaat penting dalam mereduksi warna, bau, rasa, serta material organik lainnya (Prawirodigdo dan Utomo, 2018). Selain itu, kerikil juga berperan dalam meningkatkan kinerja

lapisan *permeable* untuk menyaring partikel pada limbah, meningkatkan laju aerasi, dan mencegah penyumbatan (Sbahi dkk., 2020).

2.3.2 Soil Mix Block (SMB)

Soil Mix Block adalah gabungan antara tanah dan material organik yang dirangkai seperti pola batu bata, membungkus lapisan *permeable*, zeolit atau material bolak-balik berukuran homogen, bertujuan untuk meningkatkan laju beban hidrolis (HLR) (Sato dkk., 2019). Komponen SMB terdiri dari campuran tanah andosol, serbuk gergaji dan arang. Campuran tanah di bentuk menjadi blok persegi panjang (Haribowo dkk., 2020). Selain menggunakan tanah sebagai media utama, SMB juga dapat memanfaatkan media lain, seperti lumpur sedimentasi dari unit pengolahan Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) (Ivontianti dkk., 2021).

2.4 Mekanisme Cara Kerja MSL

Pengolahan air limbah dengan metode MSL melibatkan beberapa prinsip kerja, yaitu filtrasi, adsorpsi, absorpsi, dekomposisi, nitrifikasi dan denitrifikasi (Zein dkk., 2020).

Berikut ini adalah uraian mekanisme cara kerja metode MSL:

1. Filtrasi

Sistem pengolahan limbah cair dengan metode MSL bertujuan untuk memisahkan padatan pada limbah. Filtrasi merupakan suatu proses pengolahan limbah yang memisahkan padatan dari cairan dengan memanfaatkan media berpori untuk menghilangkan koloid, bahan tersuspensi, dan zat lain yang terdapat pada limbah. Tujuannya adalah untuk menyaring sebanyak mungkin kontaminan dalam air limbah dengan menggunakan media filter. Sistem filtrasi dapat menghilangkan warna, bau, rasa, logam berat, dan bakteri patogen pada limbah. Kemampuan media filtrasi dalam menghilangkan kontaminan berasal dari mekanisme adsorpsi. Mekanisme ini berasal dari mekanisme gaya Van der Waals, yaitu gaya tarik listrik yang relatif lemah akibat polaritas molekul yang permanen atau terinduksi (Hamdan, Yahya, dkk., 2022).

Tahapan pertama adalah filtrasi, yang berfungsi untuk mereduksi partikel padatan dan koloid menggunakan media penyaringan, seperti batuan zeolit, pasir, batuan, kerikil, ijuk, dan arang. Proses filtrasi MSL terjadi pada lapisan SMB dan lapisan *permeable*, dimulai saat air limbah memasuki media MSL untuk mengurangi kadar BOD, COD, TSS dan kekeruhan (Sulianto dkk., 2020).

2. Adsorpsi

Proses reduksi limbah gas maupun air dilakukan dengan menggunakan adsorben padat. Metode adsorpsi sangat efektif dalam memisahkan material dari konsentrasi rendah hingga konsentrasi tinggi (Luluk dan Suprihatin, 2019). Pada prinsipnya, adsorpsi ini disebabkan adanya gaya Van der Waals yang merupakan proses bolak balik (*reversible*) (Hamdan, Fajri, dkk., 2022). Proses adsorpsi pada MSL terjadi pada lapisan permukaan SMB dan lapisan permukaan *permeable*. Material organik dalam air limbah diadsorpsi pada lapisan atas SMB, arang aktif dan permukaan zeolit (Hasan, 2018).

3. Absorpsi

Absorpsi merupakan metode untuk memindahkan fluida dari satu media ke media lainnya, dan terjadi pada lapisan terdalam dari SMB (Wibowo dkk., 2017).

4. Dekomposisi

Proses dekomposisi melibatkan mikroorganisme dalam menguraikan senyawa tertentu pada limbah untuk mengurangi tingkat pencemaran (Kusumaningtyas dan Nuraini, 2017). Faktor-faktor yang mempengaruhi dekomposisi meliputi oksigen, bakteri, bahan organik sebagai nutrisi, suhu, kelembaban, cahaya dan pH (Prawirodigdo dan Utomo, 2018).

5. Nitrifikasi

Proses nitrifikasi pada MSL terjadi pada lapisan *permeable* dan sekat antara lapisan *permeable* dan SMB. Nitrifikasi adalah proses biologis yang mengoksidasi ion amonia menjadi bentuk nitrit atau nitrat. Proses nitrifikasi sangat dipengaruhi oleh ketersediaan oksigen pada limbah tersebut (Hasan, 2018).

6. Denitrifikasi

Proses denitrifikasi terjadi pada lapisan SMB dan melibatkan reaksi reduksi nitrat menjadi nitrit, nitrit oksida, dan gas nitrogen (Hasan, 2018).

2.5 Parameter Air Limbah

Penelitian ini dilakukan dengan pengujian terhadap parameter pH, COD, BOD, TSS, TDS dan Kekeruhan serta parameter pendukung adalah DO. Penjelasan terhadap parameter yang diuji sebagai berikut:

1. pH merupakan derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman pada suatu larutan. pH dihitung berdasarkan kologaritma dari aktivitas ion hidrogen (H^+) yang terlarut dalam larutan tersebut (Basir, 2019).
2. *Chemical Oxygen Demand* (COD) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur banyaknya oksigen yang dibutuhkan dalam oksidasi zat organik menjadi CO_2 dan H_2O (Rahima dan Widayatno, 2020).
3. *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) adalah parameter yang digunakan untuk mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri dalam proses penguraian bahan organik yang terdapat dalam air limbah yang terlarut atau tersuspensi (Yuliyani dan Widayatno, 2020).
4. *Total Suspended Solid* (TSS) adalah unsur tersuspensi yang berukuran lebih besar dari $1\mu m$ dan akan terendapkan jika diam dalam air selama kurang lebih 1 jam. TSS terdiri dari partikel padatan seperti lumpur, pasir halus, serta unsur organik yang bersumber dari erosi tanah dan limbah yang dibawa badan air (Gustiana dan Widayatno, 2020).
5. *Total Dissolved Solid* (TDS) merupakan zat padat terlarut yang terkandung senyawa anorganik dan organik yang terlarut di dalam air, seperti senyawa ionik atau senyawa organik yang terlarut dalam air, seperti garam (Gustiana dan Widayatno, 2020).
6. Kekeruhan adalah keadaan di mana transparansi zat cair berkurang akibat adanya zat-zat tersuspensi. Zat-zat tersebut menyebabkan air menjadi keruh atau tidak jernih (D.Sasmoko dkk., 2019).

7. *Dissolved Oxygen (DO)* adalah kadar oksigen yang terlarut dalam air dan dibutuhkan untuk respirasi aerob mikroorganisme. Kadar DO di dalam air dipengaruhi oleh suhu dan salinitas. Air yang memiliki konsentrasi DO yang tinggi memiliki kemampuan oksidasi yang baik, sementara air dengan kadar DO yang rendah dapat menunjukkan adanya kandungan pencemar (seperti bahan organik) yang tinggi. Kandungan oksigen dalam air sangat penting untuk kelangsungan hidup organisme perairan, sehingga pengukuran kadar DO dapat digunakan untuk menilai kualitas air limbah. Oleh karena itu, analisis DO sangat penting untuk menentukan tingkat pencemaran pada suatu perairan (Listyaningrum, 2022).

2.6 Siklus Operasi MSL

1) Waktu Detensi

Waktu detensi adalah waktu yang diperlukan pada proses pengolahan limbah cair untuk mencapai tujuan pengolahan yang optimal. Semakin lama waktu detensi, semakin besar penyisihan kadar pathogen (Anwar dkk., 2018). Waktu detensi menentukan lamanya proses kontak antara limbah dengan sistem pengolahan (Kasman dkk., 2018).

2) Hydraulic Loading Rate (HLR)

Hydraulic Loading Rate (HLR) adalah besarnya laju alir hidrolisis air limbah pada suatu permukaan dalam jangka waktu tertentu. Dalam pengaplikasian metode MSL, HLR memegang peranan penting dalam menentukan jumlah air limbah yang akan dialirkan pada reaktor MSL serta berpengaruh terhadap waktu detensi. Semakin rendah HLR, semakin tinggi kemampuan MSL dalam mereduksi kontaminan. Namun, untuk menghilangkan kadar BOD, COD, nitrogen dan fosfor, HLR yang dibutuhkan lebih tinggi. Menentukan HLR yang tepat dapat menghindari penyumbatan pada reaktor MSL saat beroperasi (Masunaga dkk., 2017). Besaran HLR yang umum digunakan dalam pengaplikasian reaktor MSL adalah ml/menit (Kasman dkk., 2021). Untuk menentukan variasi HLR, diperlukan perhitungan berdasarkan volume limbah, waktu detensi, dan luas permukaan reaktor.

Adapun rumus untuk menghitung besaran HLR ditunjukkan pada persamaan 2.1 (Ningrum dkk., 2018).

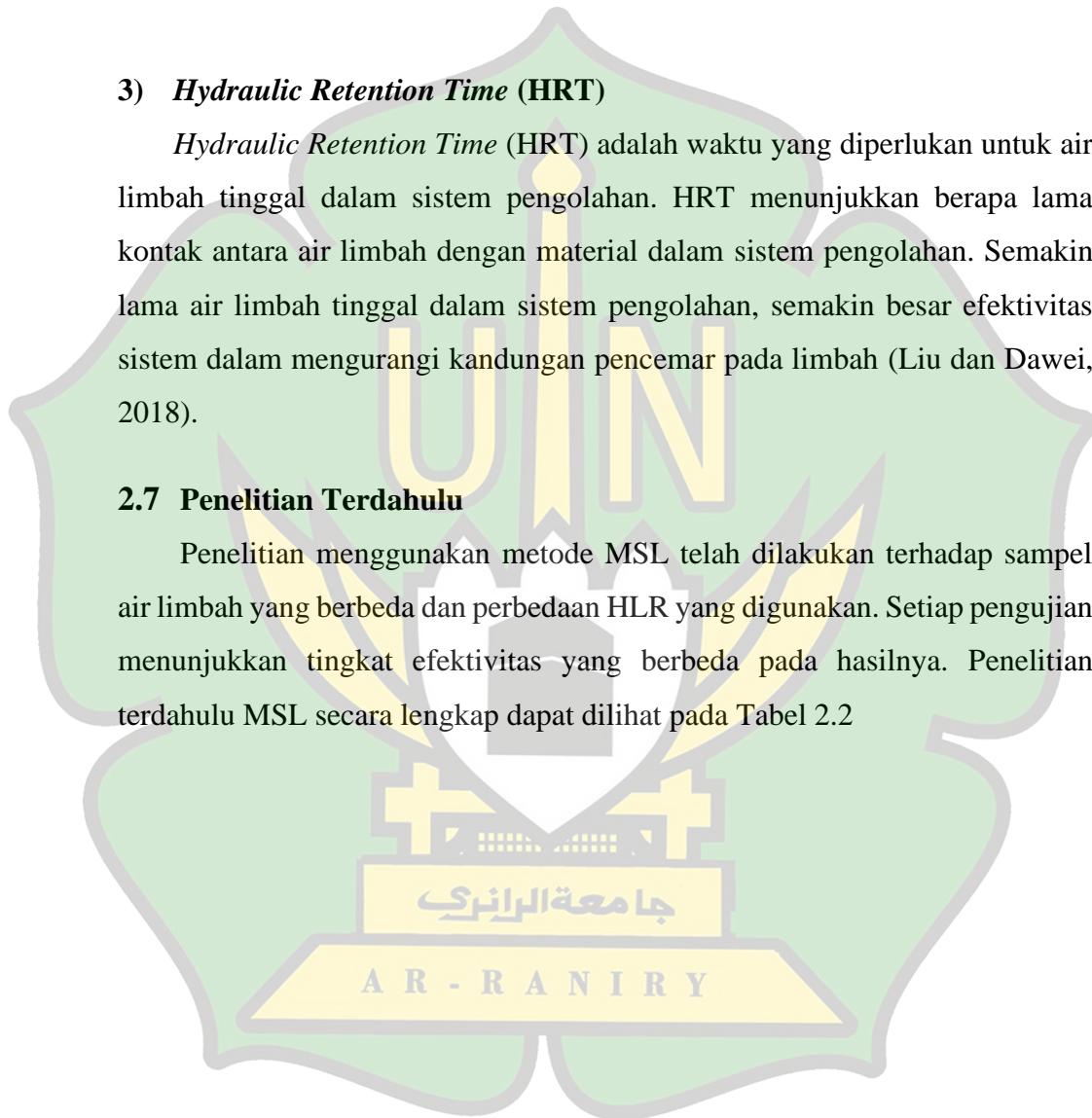
$$HLR = \frac{\text{Volume air /waktu tinggal}}{\text{Luas permukaan}} \quad (2.1)$$

3) *Hydraulic Retention Time (HRT)*

Hydraulic Retention Time (HRT) adalah waktu yang diperlukan untuk air limbah tinggal dalam sistem pengolahan. HRT menunjukkan berapa lama kontak antara air limbah dengan material dalam sistem pengolahan. Semakin lama air limbah tinggal dalam sistem pengolahan, semakin besar efektivitas sistem dalam mengurangi kandungan pencemar pada limbah (Liu dan Dawei, 2018).

2.7 Penelitian Terdahulu

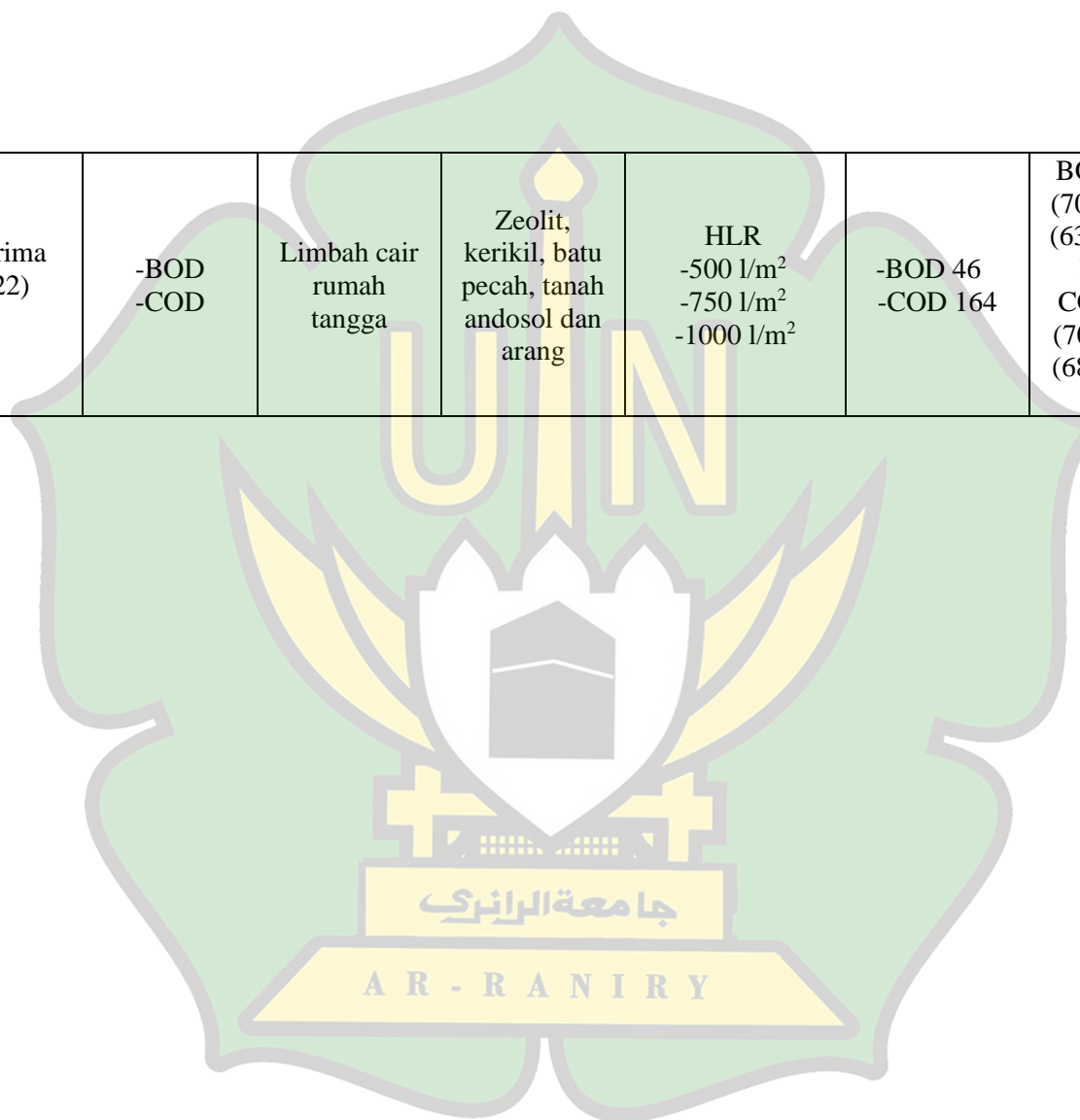
Penelitian menggunakan metode MSL telah dilakukan terhadap sampel air limbah yang berbeda dan perbedaan HLR yang digunakan. Setiap pengujian menunjukkan tingkat efektivitas yang berbeda pada hasilnya. Penelitian terdahulu MSL secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.2



Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu Mengenai *Multi Soil Layering* (MSL)

No	Peneliti	Parameter yang diuji	Jenis Sampel	Jenis Media	HLR/Waktu Detensi	Konsentrasi Awal Zat (mg/L)	Efektivitas Penurunan (%)
1	Wivina Diah Ivontianti dkk. 2021	Amonia -pH -TSS -COD	Limbah Cair Lindi	Lumpur PDAM Arang Zeolit	Waktu Detensi - 6 jam -12 jam -18 jam -24 jam -30 jam	-Amonia 88 mg/L -pH 7,7 -TSS 80 -COD 832	Amonia 96,59% -pH 7,5 -TSS 85% -COD 44,83%.
2	Rahmiana Zein dkk. 2020	-pH -TSS -BOD -COD	Limbah Cair Industri Tahu	Tanah vulkanik, serbuk besi, jerami dan arang	HLR -15 mL/Menit -30 mL/Menit -60 mL/Menit -120 mL/Menit -240 mL/Menit	-pH 4,34 -TSS 1949 -BOD 520 -COD 10200	-pH 7,2 -TSS 95,13 % -BOD 93,85 % -COD 96,20 %
3	Chen dan Pat (2021)	-Fosfor	Limbah cair rumah tangga	Tanah merah, Serbuk gergaji Arang Pasir silika Zeolit	HLR 1,2 L/Menit	50-60	83%

4	Nadya Karima dkk. (2022)	-BOD -COD	Limbah cair rumah tangga	Zeolit, kerikil, batu pecah, tanah andosol dan arang	HLR -500 l/m ² -750 l/m ² -1000 l/m ²	-BOD 46 -COD 164	BOD: 500 l/m ² (70%), 750 l/m ² (63%) dan 1000 l/m ² (63%) COD: 500 l/m ² (70%), 750 l/m ² (68%) dan 1000 l/m ² (67%)
---	--------------------------	--------------	--------------------------	--	---	---------------------	--



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu studi pendahuluan, observasi awal, karakterisasi, pembuatan reaktor MSL, eksperimen, analisis data dan penarikan kesimpulan. Studi literatur dilakukan dengan mencari informasi dari penelitian terdahulu yang terkait dengan *Multi Soil Layering*, pengolahan limbah industri tahu, dan pemanfaatan lumpur sedimentasi PDAM dalam mendegradasi limbah cair. Referensi yang digunakan berasal dari jurnal, buku, dan skripsi yang terindeks di Sinta, Scopus dan MDPI. *Keywords* yang digunakan dalam pencarian jurnal meliputi *Multi Soil Layering*, pengolahan limbah cair tahu dengan metode MSL, *tofu liquid waste treatment multi soil layering*, pemanfaatan lumpur sedimentasi PDAM dalam degradasi limbah cair, dan kandungan lumpur sedimentasi PDAM. Referensi buku dan skripsi yang diambil juga berkaitan langsung dengan penelitian ini.

Observasi awal adalah tahap di mana dilakukan peninjauan lokasi penelitian untuk mengetahui kondisi lapangan tempat penelitian serta melakukan identifikasi terkait pencemaran yang terjadi. Tahap ini bertujuan untuk menentukan metode yang tepat dalam mendegradasi pencemar limbah di lokasi tersebut. Pada tahapan observasi awal, dilakukan pengambilan sampel, pengujian awal pada sampel, dan juga mengetahui standar baku mutu kualitas limbah cair industri dengan mengacu pada Keputusan Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu.

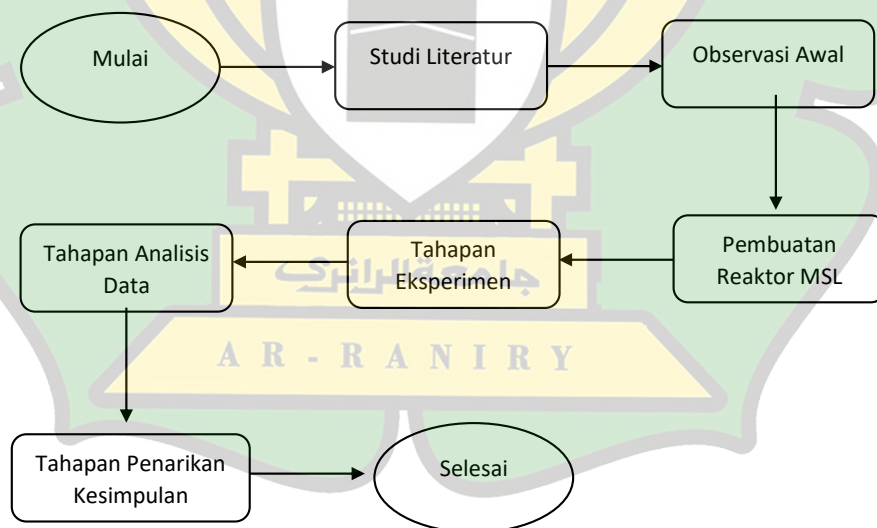
Tahapan pembuatan reaktor MSL melibatkan pembuatan desain reaktor menggunakan aplikasi AutoCAD, yang kemudian diikuti dengan proses perakitan untuk digunakan sebagai alat pengolahan limbah cair industri tahu. Tahap eksperimen dilakukan dengan tujuan untuk menguji variabel yang terjadi selama proses pengolahan limbah cair industri tahu, seperti filtrasi,

absorpsi, adsorpsi dan dekomposisi dalam mendegradasi pencemar dengan mengukur parameter pH, COD, BOD, TDS, TSS, kekeruhan dan DO. Selanjutnya, hasil pengujian akan dibandingkan dengan standar baku mutu air limbah yang diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu.

Tahapan analisis data adalah tahapan di mana hasil dari pengujian sampel limbah yang diolah pada reaktor MSL dianalisis berdasarkan parameter yang telah ditentukan, sehingga dapat memberikan informasi yang berguna untuk menarik kesimpulan.

Tahapan penarikan kesimpulan adalah tahap di mana kesimpulan ditarik berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan. Pada tahap ini, dapat dijawab seberapa efektif lumpur sedimentasi PDAM sebagai material MSL dalam mendegradasi pencemar pada limbah cair industri tahu dengan memperhatikan parameter seperti pH, COD, BOD, TSS, TDS dan kekeruhan.

Adapun tahapan umum di dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimental. Variabel yang diteliti adalah *Hydraulic Loading Rate* (HLR) dengan parameter pH, COD, TSS, TDS dan kekeruhan serta *Hydraulic Retention Time* (HRT) dengan parameter pH, COD, BOD dan TSS. Kedua variasi digunakan untuk mengevaluasi efektivitas lumpur sedimentasi PDAM sebagai material MSL dalam mendegradasi pencemar pada limbah cair industri tahu.

3.3 Lokasi Pengambilan Sampel

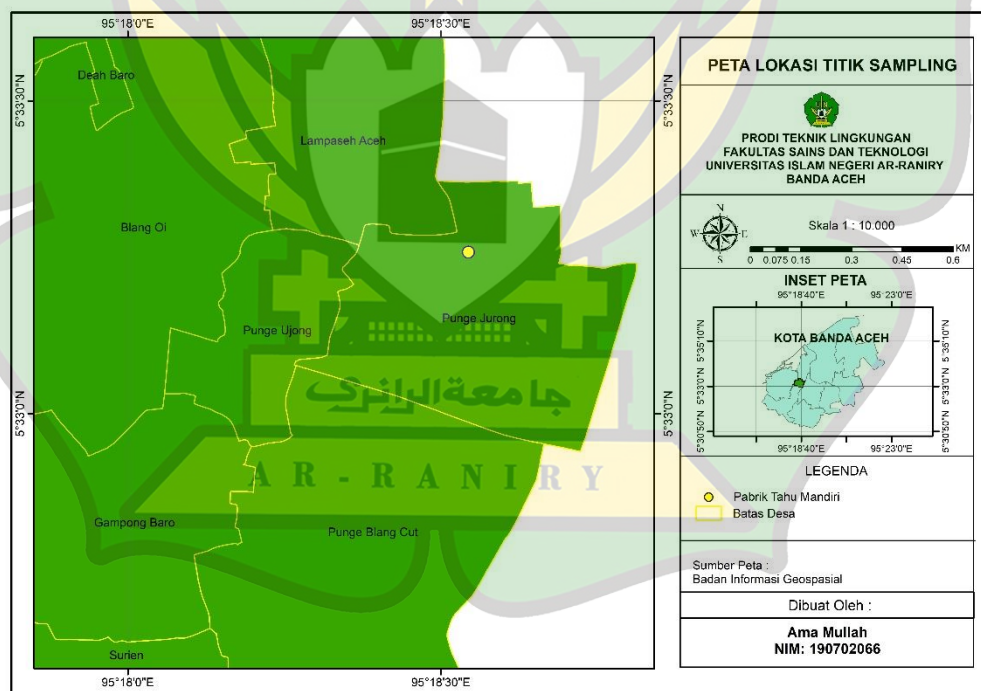
Lokasi pengambilan sampel limbah cair tahu terletak di Pabrik Tahu Mandiri yang berlokasi di Desa Punge Jurong, Kecamatan Meuraxa, Kota Banda Aceh. Industri tersebut merupakan industri skala rumahan yang menjadi pemasok tahu di pasar tradisional di daerah tersebut. Pabrik tahu mandiri memproduksi 2.471 papan per bulan atau sekitar 83 papan per hari dengan limbah cair yang dihasilkan berkisar 120 – 400 liter perhari. Pabrik tahu mandiri beroperasi dari pukul 09.00 - 17.00 WIB. Proses produksi masih dilakukan secara sistem tradisional dan belum dilengkapi sistem pengolahan air limbah. Proses produksi dimulai dari pencucian kedelai, perendaman kedelai, penggilingan kedelai, pengukusan kedelai menggunakan uap yang berasal dari tungku kayu bakar, penyaringan bubur kedelai dengan menggunakan kain, kemudian bubur kedelai yang sudah disaring, dimasukkan kedalam cetakan kayu yang di atasnya diletakkan batu dengan tujuan mengurangi kadar air. Setelah itu, tahu dipotong secara manual menggunakan pisau.

Tabel 3.1 Hasil uji pendahuluan

Parameter	Baku Mutu	Hasil Uji Pendahuluan
pH	6-9	5,7
COD (mg/L)	300	>1500
TSS (mg/L)	200	200

Berdasarkan hasil uji pendahuluan yang telah dilakukan ditunjukkan pada Tabel 3.1, menunjukkan bahwa limbah cair industri tahu mandiri belum memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup melalui Permen LH Nomor 5 Tahun 2014 tentang Kegiatan Industri Tahu. Nilai pH limbah cair industri tahu mandiri sebesar 5,7 yang tergolong asam dan belum memenuhi standar baku mutu dengan baku mutu 6-9. Nilai TSS diperoleh sebesar 351 mg/L, hasil ini belum memenuhi standar baku mutu, dengan baku mutu sebesar 200 mg/L. Adapun nilai COD sebesar >15000 mg/L, hasil ini menunjukkan nilai COD limbah cair industri tahu mandiri belum memenuhi standar baku mutu, dengan baku mutu sebesar 300 mg/L.

Adapun peta lokasi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Sumber: Google Earth dan Arcgis



Gambar 3.3 Air limbah hasil produksi



Gambar 3.4 Saluran pipa pembuangan air limbah industri tahu yang terhubung ke sungai Krueng Neng

جامعة الرانري

AR - RANIRY



Gambar 3.5 Proses produksi tahu

Lokasi pengujian sampel limbah cair industri tahu dilakukan di dua laboratorium yang berbeda, yaitu Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh untuk pengujian parameter pH, COD, DO, TDS, TSS dan kekeruhan, serta Laboratorium Balai Pengujian, Penelitian, dan Pengembangan Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Aceh untuk pengujian parameter BOD.

3.4 Eksperimen

3.4.1 Jenis Eksperimen Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan metode eksperimental. Penelitian kuantitatif adalah penelitian yang berdasarkan kaidah ilmiah (Fauzul dkk., 2021). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai pH,

COD, BOD, TSS, TDS, kekeruhan dan DO pada limbah cair tahu sebelum dan setelah dilakukan pengolahan menggunakan metode MSL dengan variasi HLR dan HRT.

3.4.2 Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat penelitian

Adapun alat penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Alat yang digunakan dalam penelitian

No	Alat	Jumlah	Satuan	Kegunaan
1	Reaktor MSL	1	buah	Alat pengolahan limbah cair tahu
2	Kotak <i>fiber</i>	1	buah	Tempat penyimpanan sampel
3	<i>Stopwatch</i>	1	buah	Alat untuk mengukur waktu yang diperlukan
4	Kamera	1	buah	Merekam proses alat
5	<i>Beaker Glass</i>	2	buah	Wadah menampung larutan sebelum atau setelah proses analisis dilakukan
6	Pipet volume	3	buah	Alat untuk mengambil memindahkan larutan
7	Oven	1	buah	Pemanasan sampel untuk uji TSS
8	Corong	1	buah	Sebagai alat bantu untuk memasukkan / larutan ke wadah
9	Penjepit	1	buah	Alat untuk mengambil kertas saring
10	Vakum Filtrasi	1	buah	Proses pengujian TSS
11	Desikator	1	buah	Wadah meletakkan kertas saring pada uji TSS
12	Neraca analitik	1	buah	Menimbang kertas saring pada uji TSS
13	pH meter	1	buah	Alat ukur pH
14	COD meter	1	buah	Alat ukur COD
15	Tabung kultur	3	buah	Wadah sampel untuk uji COD
16	<i>Heating block</i>	1	buah	Alat pengujian COD

2. Bahan penelitian

Adapun bahan penelitian ditunjukkan pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Bahan yang digunakan dalam penelitian

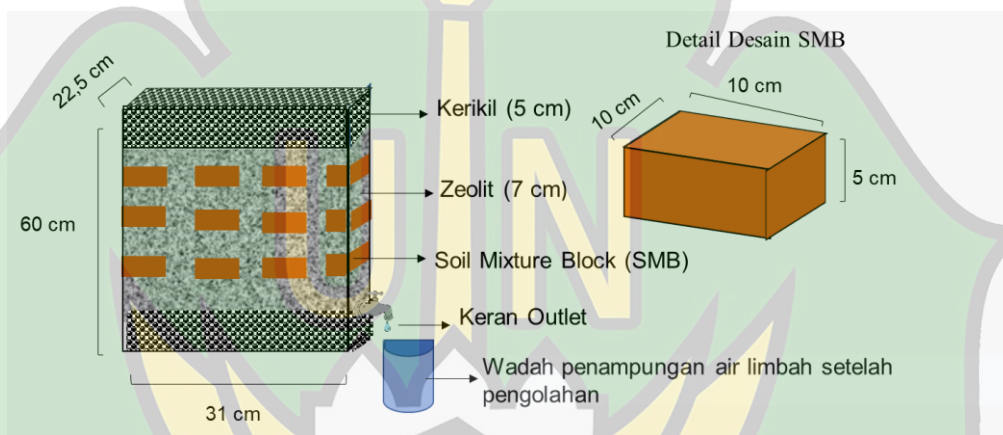
No	Bahan	Jumlah	Satuan	Kegunaan
1	Limbah cair tahu	16	liter	Sampel yang di uji
2	Es batu	3	Blok	Pengawetan sampel
3	<i>Aquadest</i>	1	liter	Membersihkan alat laboratorium
4	<i>Kalium dikromat</i> ($K_2Cr_2O_7$)	50	ml	Pengujian COD
5	<i>Asam Sulfat</i> (H_2SO_4)	70	ml	Pengujian COD
6	Kertas saring <i>whatman no 42</i>	20	lembar	Pengujian TSS
7	<i>Aluminium Foil</i>	200	cm	Lapisan untuk kertas saring
8	Masker	4	buah	Melindungi mulut dan hidung agar tidak terhirup gas berbahaya
9	Sarung tangan	4	pasang	Melindungi tangan dari zat kimia

3.4.3 Desain Reaktor

Desain Reaktor MSL ini didasarkan pada desain Chen dan Pat (2021), yang terbuat dari bahan kaca dengan ukuran 31 cm × 22,5 cm × 60 cm dan dilengkapi dengan pipa *inlet* dan *outlet* berdiameter 6,4 mm. Reaktor MSL terdiri dari tiga lapisan, yaitu lapisan dasar yang terdiri dari batu kerikil berukuran 1 – 3 cm dengan ketinggian 5 cm, dilapisi dengan jaring plastik. Lapisan kedua terdiri dari zeolit berukuran 0,2 - 0,5 cm dengan ketinggian 7 cm, dan lapisan ketiga terdiri dari campuran tanah (*Soil Mixture Block*) yang

terdiri dari lumpur sedimentasi PDAM, arang, serbuk besi, dan sekam padi (Ivontianti dkk., 2021) dengan ukuran volume SMB 10 cm × 10 cm × 5 cm Chen dan Pat (2021).

Adapun fungsi dari setiap lapisan adalah sebagai berikut: lapisan SMB berfungsi untuk menetralkan zat organik yang terdapat dalam air limbah industri tahu, sedangkan pada lapisan batuan berfungsi untuk mencegah terjadinya penyumbatan aliran limbah cair (Zein dkk., 2020). Desain reaktor MSL dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.6 Desain Reaktor MSL



Gambar 3.7 Reaktor Eksperimen

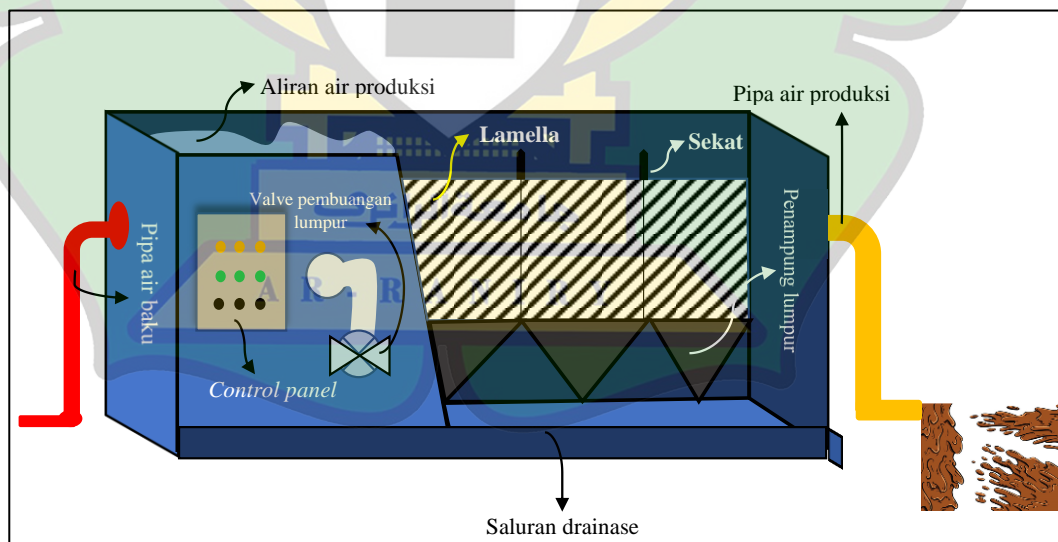
3.4.4 Prosedur Pembuatan SMB

Pada penelitian ini, digunakan komposisi lumpur sedimentasi PDAM, arang, serbuk besi, dan serbuk gergaji untuk membuat SMB. Lumpur sedimentasi PDAM dipilih sebagai alternatif pengganti tanah karena limbah tersebut belum dimanfaatkan secara maksimal. Selain itu, lumpur sedimentasi PDAM mengandung mineral dominan seperti besi, silikon (Si), dan aluminium (Al) (Ivontianti dkk., 2020). Pembuatan SMB terdiri dari beberapa tahapan, yaitu:

1. Teknik Pengambilan Lumpur

Proses pengambilan lumpur pada bak *clarifier* dilakukan pada pukul 11.30 WIB pada waktu produksi. Setiap 10 menit sekali bak *clarifier* secara otomatis memproduksi lumpur. Lumpur yang diambil kurang lebih sebanyak 15 kg. Adapun proses pengambilan lumpur adalah sebagai berikut:

- Menyiapkan ember sebagai wadah untuk lumpur yang akan diambil.
- Menuruni bak pengolahan dengan menggunakan tangga untuk mengambil lumpur.
- Memasukkan lumpur ke dalam ember yang telah disiapkan.



Gambar 3.8 Desain bak *clarifier*

Sumber: Laporan KP



Gambar 3.9 Lumpur pada bak *clarifier*



Gambar 3.10 Proses pengambilan lumpur

2. Teknik Pengeringan Lumpur

Teknik Pengeringan Lumpur Teknik pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air pada lumpur agar memudahkan proses pembuatan SMB. Adapun tahapan pengeringan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Lumpur dibersihkan dari pengotor seperti ranting kayu. Tahapan ini bertujuan untuk memastikan bahwa pada saat proses pembuatan SMB, lumpur tidak bercampur dengan material lain selain material pokok yang digunakan.

- b. Lumpur sedimentasi PDAM yang telah dibersihkan dari pengotor dikeringkan dengan bantuan panas matahari selama 3 hari.



Gambar 3.11 Proses pengeringan lumpur



Gambar 3.12 Lumpur hasil pengeringan

3. Tahapan pembuatan SMB
 - a. Setelah mengering, lumpur yang berbentuk kepingan dihaluskan hingga teksturnya mirip dengan tanah dengan menggunakan tangan. Langkah ini bertujuan untuk mencampurkan material dengan merata saat proses pembuatan SMB.
 - b. Kemudian, lumpur yang telah dihaluskan dicampur dengan arang, serbuk besi dan sekam padi dengan perbandingan 7:1:1:1.

- c. Setelah itu, campuran material tersebut dicetak dengan cetakan kayu berbentuk balok dengan ukuran 10 cm × 10 cm × 5 cm. yang cetakan nya ditunjukkan pada gambar dalam Lampiran 1.
- d. Setelah berbentuk balok, SMB dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C dengan waktu 24 jam.
- e. SMB yang telah dikeringkan, disusun di reaktor dan diberi jarak pada tiap blok.

Adapun komposisi bahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.2 Bahan-Bahan SMB

Bahan	Besar	Satuan	Kegunaan
Zeolit	7	Kg	Media filtrasi
Kerikil	3	Kg	Media filtrasi
Lumpur Sedimentasi PDAM	6	Kg	Media filtrasi
Sekam Padi	1	Kg	Media filtrasi
Arang	1	Kg	Media filtrasi
Serbuk besi	1	Kg	Media filtrasi
Kain strimin	3	meter	Pembuatan blok
Air limbah	16	Liter	Sampel yang akan diolah

3.5 Metode Sampling Air Limbah

Sampel air limbah yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Pabrik Tahu Mandiri yang terletak di Desa Punge Jurong Kecamatan Meuraxa Kota Banda Aceh. Metode pengambilan sampel mengacu pada SNI 6989-59-2008 Metode Pengambilan Contoh Air Limbah dan terdiri dari langkah-langkah berikut:

1. Siapkan alat pengambil sampel, termasuk botol plastik, spidol, kertas label, dan gayung.
2. Persiapkan es batu sebagai pengawet sampel air limbah.
3. Bilas alat pengambil sampel dengan sampel yang akan diambil sebanyak 3 kali, lalu ambil sampel dengan gayung dan tuangkan ke dalam botol plastik.

Beri label pada botol dengan mencantumkan nomor sampel, tanggal dan waktu pengambilan.

4. Masukkan botol plastik berisi sampel ke dalam kotak fiber yang berisi es batu dan lakukan pengujian kadar pencemar seperti pH, COD, BOD, TSS, TDS dan kekeruhan pada laboratorium yang telah ditentukan.
5. Volume air limbah industri tahu yang digunakan untuk sampling adalah 20 liter. Setelah melakukan pengecekan parameter awal, proses pengolahan dilakukan pada reaktor MSL.

3.5.1 Prosedur Pengujian Sampel

Pada penelitian ini, parameter air limbah yang diuji adalah pH, COD, BOD, TSS, TDS dan kekeruhan, dan seluruh pengujian dilakukan sesuai dengan SNI terbaru yang berlaku.

1. pH

Pengujian nilai pH berdasarkan SNI 6989.11-2009. Metode pengukuran pH dilakukan dengan menggunakan pH meter dengan melihat kadar ion hidrogen yang ada pada sampel. Tahapan pengujian dimulai dengan mengeringkan elektroda dan dibilas menggunakan air suling. Kemudian bilas elektroda dengan air sampel. Lalu masukkan elektroda ke dalam sampel hingga pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap. Hasil pembacaan yang muncul pada pH meter dicatat.

2. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Pengujian COD mengacu pada SNI 6989.2-2019 tentang Cara Uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (COD).

a) Bahan

1. Limbah cair Industri Tahu
2. $K_2Cr_2O_7$ (*Kalium dikromat*)
3. H_2SO_4 (*Asam Sulfat*)

b. Alat

1. COD meter
2. Tabung Kultur
3. *Heating block*
4. Pipet volumetrik 5,0 ml; 10,0 ml; 15,0 ml; 20,0 ml dan 25,0 ml

c. Prosedur pengujian

Sampel sebanyak 2,5 ml dimasukkan ke dalam tabung kultur, kemudian tambahkan larutan pereaksi *asam sulfat* sebanyak 3,5 ml dan *kalium dikromat* sebanyak 1,5 ml. Lalu, tutup tabung kultur dan kocok perlahan hingga homogen. Kemudian, tabung kultur dimasukkan ke dalam COD reaktor dan dipanaskan pada suhu 150°C selama 2 jam.

a. Pengukuran contoh uji

Sampel yang telah dipanaskan, didiamkan pada suhu ruang, dengan tujuan agar tidak terjadi pengendapan. Kemudian, kalibrasi COD meter dengan larutan pereaksi agar hasil yang diperoleh akurat. Setelah proses kalibrasi, masukkan sampel ke dalam COD meter dan tekan tombol read pada COD meter untuk memperoleh hasil perhitungan nilai COD.

3. *Total Suspended Solid (TSS)*

Pengujian TSS dilakukan berdasarkan SNI 06-6989.3:2004 Air dan air limbah – Bagian 3: Cara uji padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid/TSS*). Berikut ini merupakan prosedur pengujiannya:

a) Prinsip

Sampel yang homogen disaring dengan kertas saring yang sudah ditimbang. Kemudian, residu yang terdapat pada saringan dipanaskan pada suhu 103°C hingga 105°C. Kenaikan berat pada saringan tersebut merepresentasikan jumlah padatan tersuspensi total (TSS). Apabila padatan tersuspensi menyebabkan penyaringan terhambat dan berlangsung lama, maka dapat dilakukan penyesuaian dengan memperbesar diameter pori-pori saringan atau mengurangi volume contoh uji. Untuk memperoleh hasil yang akurat,

perlu dilakukan perhitungan perbedaan antara padatan terlarut total dan padatan total.

b) Bahan

- a. Kertas saring *Whatman* No. 42
- b. Air suling
- c. Sampel

c) Peralatan

Alat yang diperlukan pada uji TSS adalah vakum filtrasi, desikator yang berisi silika gel, oven dipanaskan pada suhu 103°C hingga 105°C, timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 mg, pengaduk magnetik, pipet volume gelas ukur, cawan aluminium, cawan porselen/cawan Gooch, penjepit, kaca arloji dan pompa vakum.

d) Prosedur

Gunting kertas saring sesuai dengan ukuran vakum filtrasi yang digunakan. Kertas saring yang telah digunting, diletakkan pada vakum filtrasi. Kemudian, masukkan sampel kedalam alat vakum filtrasi yang sudah dilengkapi dengan kertas saring. Lalu, alat vakum filtrasi dinyalakan dan tunggu hingga sampel pada vakum filtrasi habis.

Setelah dilakukan penyaringan pada vakum filtrasi, kertas saring dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 103°C sampai dengan 105°C selama 1 jam. Kertas saring yang sudah dikeringkan, kemudian ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik. Kemudian berat kertas saring dicatat dan dilakukan perhitungan nilai TSS. Adapun rumus perhitungan TSS adalah sebagai berikut:

Untuk menghitung parameter TSS maka dilakukan Persamaan 3.1

$$TSS = \frac{(A-B) \times 1000}{Volume\ contoh\ uji, ml} \quad (3.1)$$

dengan pengertian:

A = berat kertas saring + residu kering, mg

B = berat kertas saring, mg.

4. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

Pengujian BOD dilakukan berdasarkan SNI 6989-72-2009 Uji BOD Bagian 72: Cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (*Biochemical Oxygen Demand*) Berikut ini merupakan prosedur pengujiannya:

Sampel air limbah dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan tambahkan $MnSO_4$ dan larutan alkali azida sebanyak 1 ml. Kemudian sampel ditutup dan dikocok dengan membolak-balikkan botol beberapa kali, ditunggu hingga terbentuk endapan. Lalu tambahkan H_2SO_4 pekat sebanyak 1 ml melalui dinding botol, dan tutup kembali dan kocok sampai endapan larut. Selanjutnya dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi larutan jenuh, diaduk hingga homogen. Sampel dititrasi dengan natrium tiosulfat ($Na_2S_2O_3$) 0,1 N hingga warnanya menjadi kuning muda. Indikator kanji ditambahkan ke dalam sampel sebanyak 1 – 2 mL hingga warnanya berubah menjadi biru dan dititrasi lagi hingga warna biru hilang.

5. *Total Dissolved Solid (TDS)*

Pengukuran padatan terlarut total (TDS) menggunakan alat multiparameter.

a. Alat

1. *Beaker glass*
2. Multiparameter

b. Bahan

1. Sampel limbah tahu - R A N I R Y
2. Aquades

c. Langkah-langkah

Masukkan sampel ke dalam *beaker glass* lalu bilas elektroda menggunakan aquades. Kemudian masukkan elektroda yang telah dibilas kedalam *beaker glass* yang telah diisi sampel. Selanjutnya alat didiamkan untuk menunjukkan hasil pembacaan angka.

7. *Dissolved Oxygen (DO)*

Tahapan analisis DO adalah sebagai berikut

Siapkan DO Meter, perlengkapan, dan sampel larutan yang akan diperiksa dan lakukan kalibrasi DO meter. Sebagian besar DO meter digital sudah dilengkapi dengan mode kalibrasi otomatis, yaitu ketika dihidupkan langsung mengkalibrasi. Di layar, pengukuran DO akan naik dari 0 hingga 100, lalu kembali ke posisi awal. Ukur konsentrasi DO dari sampel dengan mencelupkan batang *probe* DO Meter hingga ujung *probe* bersentuhan dengan dasar gelas kaca. Setelah beberapa saat mencelupkan sehingga pengukuran tidak bergerak, angkat *probe* dan bilas lalu keringkan *probe*, kemudian simpan kembali DO meter pada tempat yang tersedia.

8. **Kekeruhan**

Kalibrasi alat dilakukan dengan menggunakan larutan standar 0 NTU, 100 NTU, 800 NTU dan 1000 NTU ke dalam turbidimeter, kemudian hasil turbiditas standar dibaca yang tertera pada tampilan turbidimeter. Tabung turbidimeter dibilas dengan menggunakan aquades dan sampel dimasukkan ke dalam tabung turbidimeter. Ditunggu beberapa saat, kemudian hasil pembacaan angka dibaca pada tampilan turbidimeter.

3.6 **Prosedur Eksperimen**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan jenis penelitian kuantitatif untuk membandingkan efektivitas MSL dalam mengurangi kadar pencemar limbah cair industri tahu berdasarkan parameter COD, BOD, TSS, TDS, DO, kekeruhan dan pH. Penelitian diawali dengan proses pembuatan SMB, dimulai dengan pengeringan lumpur sedimentasi selama 3 hari dengan bantuan sinar matahari. Kemudian, lumpur sedimentasi dicampur dengan sekam padi, serbuk arang, dan serbuk besi dengan perbandingan 7:1:1:1. Setelah pencampuran bahan, SMB dicetak menggunakan cetakan kayu berukuran 10 cm × 10 cm × 5 cm dan dikeringkan di dalam oven dengan suhu 105°C selama 24 jam.

Tahapan selanjutnya adalah menyusun material ke dalam reaktor dengan ketebalan masing-masing material, yaitu kerikil setinggi 5 cm, zeolit setinggi 7 cm, dan SMB setinggi 5 cm. Lapisan material tersebut disusun secara berulang, di mana pada setiap lapisan SMB dilapisi dengan kain strimin untuk mencegah tercampurnya SMB dengan zeolit saat proses pengolahan. Setelah itu, limbah cair industri tahu dimasukkan ke dalam bak sedimentasi dan dibiarkan selama 24 jam sebelum dialirkan ke dalam reaktor MSL.

Kemudian, setelah dilakukan pengendapan, limbah cair industri tahu dialirkan ke dalam reaktor dengan memvariasikan bukaan pada keran *inlet*. Bukaan pada keran dibagi menjadi 3 yaitu $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ dan penuh. Variasi bukaan pada keran *inlet* akan menentukan besarnya HLR dan waktu tinggal air limbah. Limbah cair industri tahu dialirkan secara kontinyu, artinya keran *outlet* pada reaktor MSL tetap terbuka dan di bawah keran *outlet* disediakan wadah penampung limbah sebagai tempat penampungan limbah cair industri tahu yang dialirkan dari keran *inlet*. Tahap selanjutnya, limbah yang telah diolah dimasukkan ke dalam botol sampel untuk dianalisis.

Pada variasi HRT, dilakukan metode eksperimen yang sama seperti pada variasi HLR, namun pada variasi HRT, proses pengolahan limbah dilakukan dengan metode *Batch*, yaitu dengan memberi waktu tinggal pada limbah di dalam reaktor MSL. Variasi waktu tinggal yang digunakan adalah 4 jam, 6 jam, 8 jam, 10 jam dan 12 jam. Limbah cair industri tahu sebanyak 4 liter dialirkan ke dalam reaktor MSL dan diproses dengan metode *Batch* selama 12 jam dengan kondisi keran *outlet* tertutup. Pengambilan sampel dilakukan pada waktu 4 jam, 6 jam, 8 jam, 10 jam dan 12 jam dengan volume sampel sebanyak 500 ml pada setiap variasi waktu.

- **Penentuan Variasi HLR**

Untuk menentukan variasi HLR, diperlukan perhitungan berdasarkan volume limbah, waktu detensi, dan luas permukaan reaktor. Waktu detensi dihitung sebagai waktu total limbah mengalir dari keran *inlet* hingga keluar reaktor MSL melalui keran *outlet*, yang bervariasi tergantung pada variasi

bukaan pada keran inlet. Pada penelitian ini, volume limbah hanya memiliki satu variasi untuk setiap variasi bukaan keran inlet. Untuk menghitung besaran HLR, dapat digunakan rumus yang ditunjukkan pada persamaan tertentu.

Adapun rumus untuk menghitung besaran HLR ditunjukkan pada persamaan 3.4 (Ningrum dkk., 2018).

$$\text{HLR} = \frac{\text{Volume air} / \text{waktu tinggal}}{\text{Luas permukaan}} \quad (3.4)$$

3.7 Analisis X-Ray Diffraction (XRD) Lumpur Sedimentasi PDAM

Menurut Wicaksono dkk. (2017) prinsip kerja dari analisa XRD ialah, sampel dihaluskan terlebih dahulu menggunakan mortal dan alu atau mill grinding. Sampel yang telah dihaluskan dimasukkan ke dalam *holder* sampel XRD. Sumber radiasi dari alat XRD menggunakan tegangan Cu pada 40 KV dan 40 mA. Sudut *scanning* dimulai dari 10° sampai 100°. Sampel akan dikenai sinar-X yang dipancarkan dari sumber tegangan. Sinar-X tersebut akan menabrak bidang kristal dan menghasilkan pancaran sinar-X yang dibiaskan oleh bidang kristal tersebut. Obyek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam intensitas dari pantulan sinar-X dan mengolahnya dalam bentuk grafik/difraktogram yang khas sesuai dengan kisi-kisi kristal masing-masing senyawa.

3.8 Analisis Data

3.8.1 Pengukuran Efektivitas

Tahapan analisis data dan pembahasan dilakukan berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis parameter pH, COD, BOD, TSS, TDS, DO dan kekeruhan limbah cair industri tahu sebelum pengolahan dan berdasarkan hasil sampling efluen limbah cair industri tahu yang telah melalui pengolahan pada reaktor MSL. Hasil efluen pengolahan limbah cair industri tahu dibawa ke Laboratorium yang telah ditentukan untuk diuji. Hasil uji Laboratorium kemudian dianalisis untuk ditentukan efektivitas pemanfaatan lumpur sedimentasi PDAM sebagai material *Multi Soil Layering* (MSL) dalam

mendegradasi pencemar limbah cair industri tahu berdasarkan rumus efektivitas limbah cair dan dibandingkan terhadap baku mutu yang telah ditetapkan.

Untuk menghitung efektivitas maka dilakukan Persamaan 3.5

$$\% \text{ Efektivitas} = \frac{a-b}{a} \times 100 \% \quad (3.5)$$

Keterangan:

a = Hasil Pengukuran Awal

b = Hasil Pengukuran Setelah Pengolahan

3.8.2 Pengolahan Data Melalui SPSS

Analisis data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan program aplikasi SPSS (*Statistical Program for Social Science*). SPSS adalah aplikasi yang digunakan untuk analisis statistika tingkat lanjut. Data yang telah diolah akan dibuat dalam bentuk tabulasi, grafik dan diagram. Analisis yang digunakan adalah analisis regresi linier berganda. Analisis regresi linier berganda adalah hubungan linier antara dua atau lebih variabel independen (variabel bebas) dengan variabel dependen (variabel terikat) (Wibisono dkk., 2019).

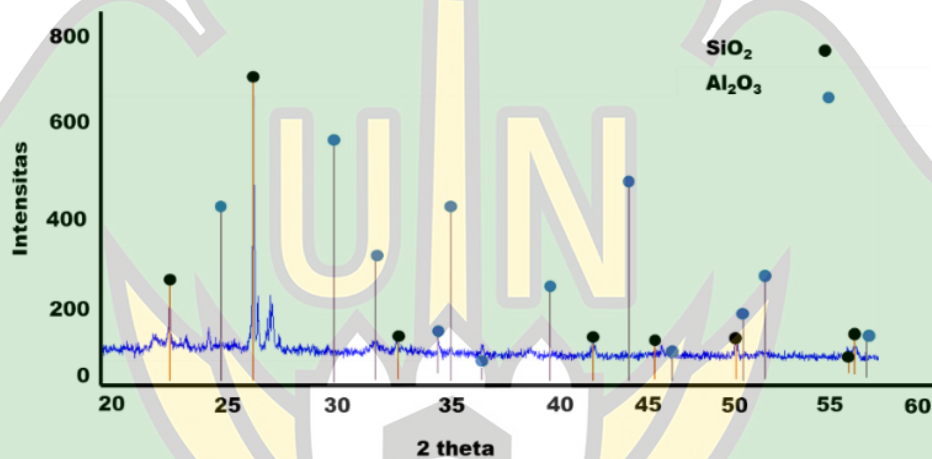
Uji linearitas digunakan untuk mengetahui hubungan antara variabel independen dan variabel dependen mempunyai hubungan yang linear secara signifikan atau tidak. Untuk mengetahui linearitas data dapat digunakan dengan menggunakan uji *test of linearity* dengan taraf signifikansi 5%, sehingga jika nilai signifikansi *linearity* lebih besar dari 0,05 maka data tersebut linear, jika di bawah 0,05 maka data tersebut tidak linear (Nabila dan Isroah, 2019). Adapun analisis yang digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh variabel bebas yaitu variasi waktu detensi dan variasi volume limbah yang digunakan dalam variasi HLR dan HRT terhadap variabel terikat yaitu penurunan nilai pH, COD, BOD, TSS, TDS, kekeruhan dan DO

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Analisis Mineralogi Lumpur Sedimentasi PDAM

Berdasarkan hasil pengukuran *X-Ray Diffraction* diperoleh dua mineral dominan yang terdapat dalam lumpur sedimentasi PDAM seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kurva Difraktogram hasil pengukuran XRD mineral SiO₂ dan Al₂O₃

Berdasarkan difraktogram hasil analisis pengukuran XRD ditunjukkan pada Gambar 4.1. bahwa lumpur PDAM mengandung dua mineral utama yaitu SiO₂ (*silicon dioxide*) dan Al₂O₃ (*aluminium oxide*). Kandungan mineral SiO₂ dan Al₂O₃ berasal dari tahapan proses koagulasi. Pada tahapan ini dilakukan penambahan koagulan seperti tawas (Al₃(SO₄)₃) dan *poly aluminium chloride* (Nugteren dkk., 2017). Selain berasal dari koagulasi, mineral SiO₂ diperoleh dari lumpur hasil endapan proses filtrasi yang menggunakan batuan silika.

Pada difraktogram analisis XRD Gambar 4.1. menunjukkan *peak-peak* terbentuk pada sudut 2θ . Pada sudut 22° intensitas 300 cps, sudut 26° intensitas 750 cps, sudut 33° intensitas 100 cps, sudut 42° intensitas 100 cps, sudut 45° intensitas 100 cps, sudut 50° intensitas 100 cps dan pada sudut 56° terbentuk 2 *peak* dengan intensitas 50 cps dan 100 cps mengindikasikan kurva mineral

SiO₂. Pada sudut 25° intensitas 450 cps, sudut 30° intensitas 580 cps, sudut 32° intensitas 350 cps, sudut 34° intensitas 100 cps, 35° intensitas 450 cps, 36° intensitas 50 cps, 40° intensitas 280 cps, 44° intensitas 500 cps, 50° intensitas 180 cps, 52° intensitas 300 cps dan 57° intensitas 100 cps mengindikasikan kurva mineral Al₂O₃. *Peak* dominan terbentuk pada sudut 26° dan 30° dengan intensitas 750 dan 580 cps. Pada sudut 26° dengan intensitas 750 cps mengindikasikan kurva mineral SiO₂. Sedangkan pada sudut 25° dengan intensitas 580 cps mengindikasikan kurva mineral kurva Al₂O₃.

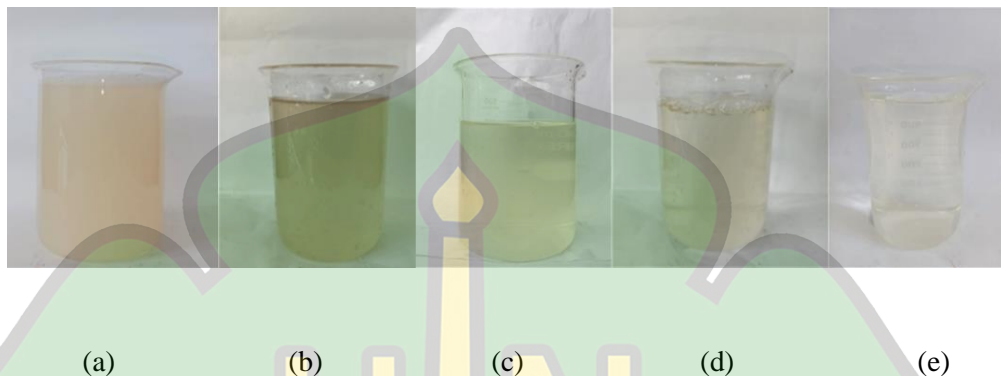
Berdasarkan hasil analisis pengukuran XRD yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, terbukti bahwa lumpur PDAM mengandung dua mineral yang dominan yaitu SiO₂ (*silicon dioxide*) dan Al₂O₃ (*aluminium oxide*). Menurut Ma dkk. (2020) silika berperan adsorben dalam proses adsorpsi. Silika memiliki sifat kimia yang dapat menarik dan mempertahankan senyawa organik dari larutan. Silika dengan pori-pori dan permukaan yang besar dapat menangkap molekul organik di dalamnya melalui interaksi fisik atau kimiawi. Silika dengan pori-pori dan permukaan yang besar dapat menangkap molekul organik di dalamnya melalui interaksi fisik atau kimiawi seperti adsorpsi Van der Waals, ikatan hidrogen, atau ikatan ionik.

Menurut Zhao dkk. (2021) Al₂O₃ berperan sebagai adsorben yang dapat menyerap senyawa organik pada permukaannya sehingga dapat mengurangi konsentrasi senyawa organik pada limbah cair. Kandungan ion Al³⁺ yang bersifat basa pada lumpur bersifat basa pada lumpur juga berkontribusi dalam menetralkan limbah. Pada lapisan SMB, terjadi pertukaran kation basa yang terdapat pada lumpur dengan kation asam yang terdapat pada limbah, sehingga terjadi perubahan pH (Ren dkk., 2022; Latrach dkk., 2018). Kandungan SiO₂ dan Al₂O₃ yang ada pada lumpur sedimentasi PDAM memiliki potensi yang tinggi dalam mendegradasi pencemar pada limbah cair tahu.

4.2 Efektivitas Sistem MSL variasi *Hydraulic Loading Rate* (HLR)

Penampakan fisik limbah cair industri tahu dalam variasi nilai HLR sebelum dan sesudah eksperimen variasi nilai HLR dapat dilihat pada Gambar

4.1 terlihat limbah industri tahu sebelum pengolahan cenderung terlihat lebih keruh, namun setelah proses pengolahan dengan variasi nilai HLR menjadi lebih jernih.

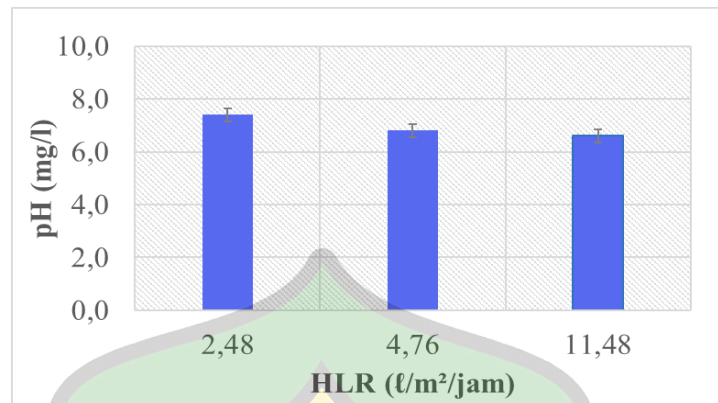


Gambar 4. 2 Limbah cair industri tahu (a) sebelum eksperimen; (b) sedimentasi awal; (c) HLR 11,48 L/m²/Jam; (d) HLR 4,76 L/m²/jam dan (e) HLR 2,48 L/m²/jam

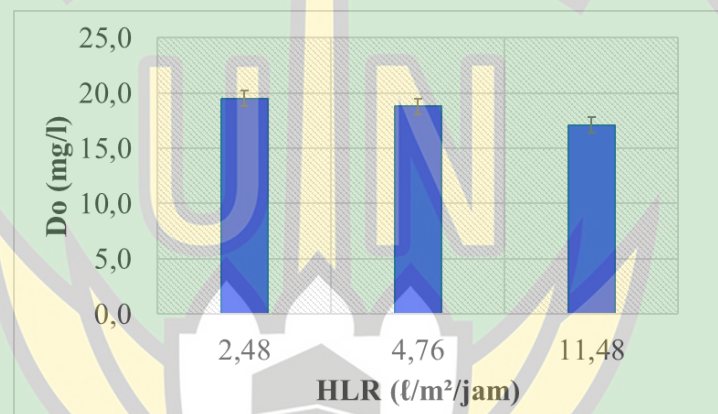
Tabel 4.1 Hasil dan Efektivitas (%) pH dan DO sesudah perlakuan dengan variasi nilai HLR

Variasi HLR (l/m ² /jam)	pH	DO (mg/L)	Ef DO (%)
11,48	6,6	17,1	4,90
4,76	6,8	18,8	15,33
2,48	7,4	19,5	19,63

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa nilai pH cenderung berbanding terbalik dengan variasi nilai HLR yang diberikan. Konsentrasi nilai pH meningkat seiring dengan penurunan HLR. Gambar 4.2 (a) menunjukkan bahwa pada HLR 11,48 L/m²/jam dan 4,76 L/m²/jam pH terdeteksi asam yaitu 6,6 dan 6,8. Kemudian dengan penurunan HLR menjadi 2,48 L/m²/jam, konsentrasi pH meningkat menjadi netral yaitu 7,4.



(a)



(b)

Gambar 4.3 Grafik perubahan konsentrasi pH dan DO terhadap variasi nilai HLR dalam sistem MSL (a) Konsentrasi pH dan (b) Konsentrasi DO.

Peningkatan nilai pH disebabkan oleh proses nitrifikasi dan denitrifikasi yang terjadi pada lapisan SMB, sehingga mengurangi kadar keasaman pada limbah. Kandungan ion Al^{3+} yang bersifat basa pada lumpur bersifat basa pada lumpur juga berkontribusi dalam menetralkan limbah. Pada lapisan SMB, terjadi pertukaran kation basa yang terdapat pada lumpur dengan kation asam yang terdapat pada limbah, sehingga terjadi perubahan pH (Ren dkk., 2022; Latrach dkk., 2018).

Hasil uji regresi linier untuk mengetahui pengaruh variasi nilai HLR terhadap efektivitas pH dapat dilihat pada lampiran. Namun, hasil analisis menunjukkan bahwa nilai signifikansi sebesar $0,356 > 0,05$, sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi nilai HLR tidak berpengaruh signifikan terhadap

efektivitas pH. Kesimpulan ini didukung oleh hasil uji T, yang menunjukkan bahwa nilai t hitung sebesar $1,600 < t$ tabel 12,71, menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai pH akibat variasi nilai HLR.

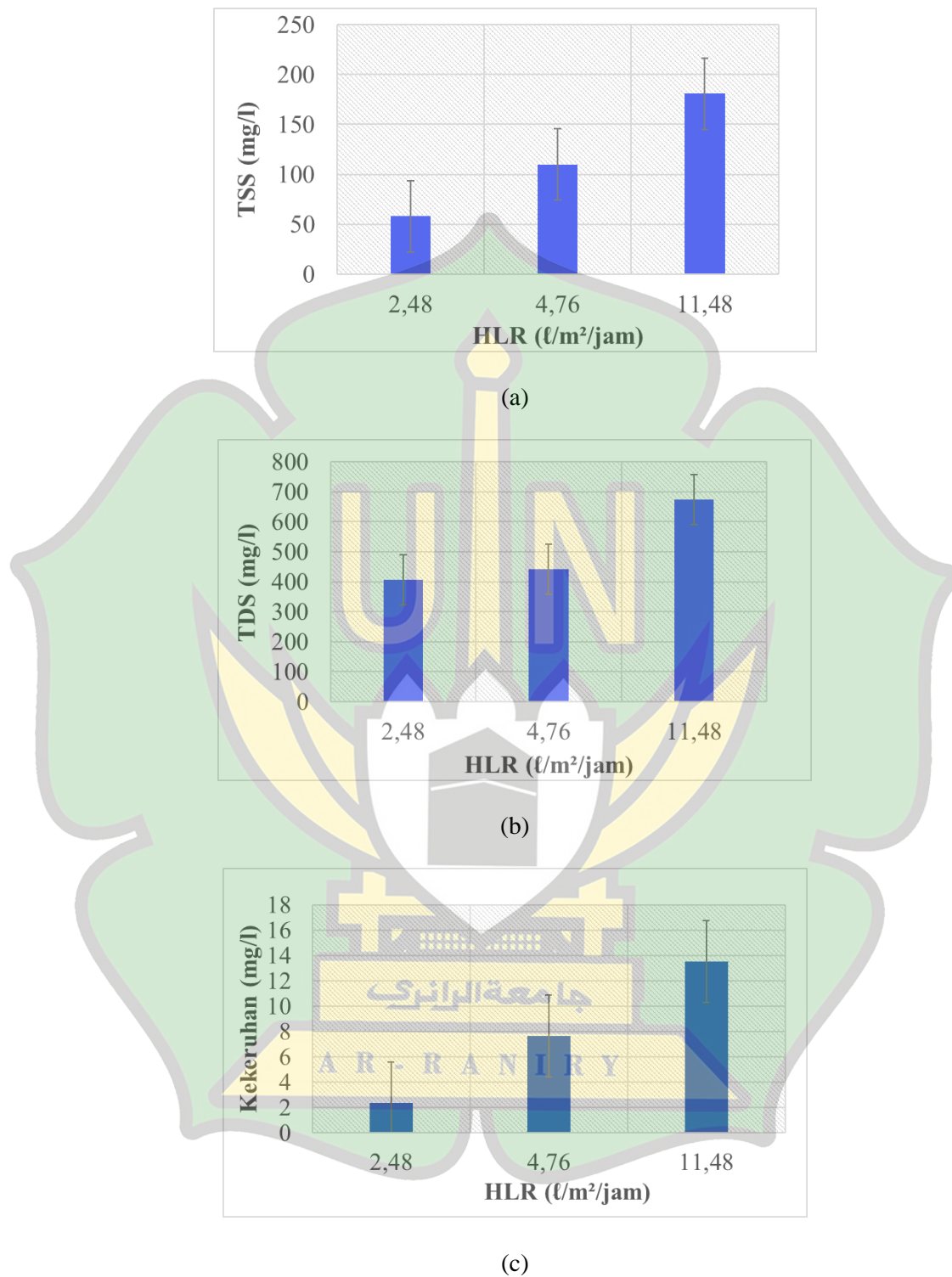
Pengukuran oksigen terlarut adalah untuk mengetahui jumlah oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme dalam mendegradasi zat organik. Gambar 4.3 (b) menunjukkan bahwa konsentrasi nilai DO mengalami peningkatan seiring dengan penurunan nilai HLR. Peningkatan nilai DO terjadi pada penggunaan nilai HLR yang rendah, semakin rendah nilai HLR yang digunakan semakin tinggi kadar oksigen pada limbah cair industri tahu setelah proses pengolahan. Pada HLR 11,48 L/m²/jam nilai DO 17,1 mg/L, penurunan HLR menjadi meningkatkan nilai DO sebesar 1,7 - 2,4 mg/L. Kenaikan ini terjadi pada HLR 4,76 L/m²/jam dan 2,48 L/m²/jam. Pada HLR 4,76 L/m²/jam nilai DO mencapai 18,8 mg/L dan pada HLR 2,48 L/m²/jam nilai DO meningkat menjadi 19,5 mg/L. Penurunan nilai HLR meningkatkan waktu kontak limbah dengan material MSL sehingga efisiensi penyisihan zat organik meningkat. Penyisihan zat organik yang tinggi akan meningkatkan nilai DO (Song dkk., 2018).

Hasil uji regresi linier mengenai hubungan variasi nilai HLR dengan efektivitas kadar DO tercantum di lampiran. Hasil analisis variasi HLR terhadap peningkatan nilai DO menunjukkan nilai signifikansi $0,177 > 0,050$, yang menunjukkan bahwa variasi nilai HLR tidak berpengaruh signifikan terhadap efektivitas kadar DO. Temuan ini diperkuat oleh hasil uji T, dimana nilai t hitung sebesar $3,511 < t$ tabel sebesar 12,71, menunjukkan tidak adanya pengaruh yang signifikan pada perubahan nilai DO.

Tabel 4.2 Hasil dan Efektivitas (%) pengukuran TSS, TDS dan kekeruhan sesudah perlakuan variasi nilai HLR

Variasi HLR (l/m ² /jam)	TSS (mg/L)	Ef TSS (%)	TDS (mg/L)	Ef TDS (%)	Kekeruhan (mg/L)	Ef Kekeruhan(%)
11,48	181	26,12	673	59,01	13,54	98,24
4,76	110	55,10	441	73,14	7,66	99
2,48	58	76,32	407	75,21	2,36	99,69

Tabel 4.2 nilai TSS, TDS dan kekeruhan limbah cair industri tahu, menunjukkan bahwa efektivitas variasi nilai HLR dalam proses penyisihan zat organik dan nutrisi meningkat seiring dengan penurunan nilai HLR. Penyisihan kadar TSS, TDS, dan kekeruhan berdasarkan tiga variasi HLR ditunjukkan pada Gambar 4.4 (a), Gambar 4.4 (b) dan Gambar 4.4 (c). Berdasarkan Tabel 4.2 penggunaan variasi nilai HLR mampu mendegradasi polutan dengan persentase penurunan TSS mencapai 76,32%, TDS mencapai 75,21% dan kekeruhan mencapai 99,69%. Sedangkan hasil pengukuran nilai TSS, TDS dan kekeruhan terjadi penurunan yang sangat signifikan dengan penggunaan HLR 2,48 L/m²/jam seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2.



Gambar 4. 4 Grafik perubahan konsentrasi parameter terhadap variasi nilai HLR (a) Konsentrasi TSS; (b) Konsentrasi TDS dan (c) Konsentrasi kekeruhan

Penyisihan kadar TSS terhadap variasi nilai HLR ditunjukkan pada Gambar 4.4 (a), yang menunjukkan bahwa pada HLR 11,48 L/m²/jam dan 4,76 L/m²/jam

nilai TSS sebesar 181 mg/L dan 65 mg/L dan pada HLR 2,48 L/m²/jam terjadi penurunan nilai TSS hingga mencapai 58 mg/L. Gambar 4.4 (b), menunjukkan nilai TDS berdasarkan variasi HLR. Pada HLR 11,48 L/m²/jam, nilai TDS sebesar 673 mg/L, dan seiring dengan penurunan nilai HLR yang digunakan, penurunan konsentrasi TDS semakin meningkat. Pada HLR 4,76 L/m²/jam nilai TDS sebesar 441 mg/L dan pada HLR 2,48 L/m²/jam mencapai 407 mg/L. Pada Gambar 4.4 (c) menunjukkan penurunan kadar kekeruhan terhadap variasi nilai HLR. Pada HLR 11,48 L/m²/jam nilai kekeruhan sebesar 13,54 NTU. Pada variasi HLR dibawah 11,48 L/m²/jam, yaitu pada HLR kekeruhan 4,76 L/m²/jam dan 2,48 L/m²/jam, nilai kekeruhan sebesar 7,66 mg/L dan 2,36 mg/L.

Penurunan nilai TSS, TDS, dan kekeruhan terjadi karena proses adsorpsi. Zat organik yang terkandung dalam limbah cair industri tahu diadsorpsi oleh kerikil, SMB dan zeolit. Kandungan mineral SiO₂ dan Al₂O₃ pada material batuan dan lumpur sedimentasi PDAM berfungsi sebagai adsorben dalam proses mendegradasi zat organik dan nutrisi dalam limbah cair industri tahu. Molekul-molekul dalam limbah cair tersebut menempel pada permukaan material adsorben melalui gaya fisika dan kimia. Dalam adsorpsi fisika, terjadi gaya Van der Waals, yaitu gaya tarik-menarik antara adsorbat dan adsorben yang memiliki sifat lemah. Sedangkan dalam adsorpsi kimia, gaya tarik antara adsorbat dan adsorben melalui ikatan kimia (Lakherwal, 2017).

Hasil uji regresi linier dengan variasi nilai HLR terhadap efektivitas penyisihan kadar TSS, TDS dan kekeruhan dapat dilihat pada lampiran. Analisis terhadap variasi nilai HLR terhadap penurunan kadar TSS menunjukkan nilai signifikansi sebesar $0,120 > 0,05$, yang menunjukkan bahwa variasi nilai HLR tidak berpengaruh signifikan terhadap efektivitas penyisihan TSS. Hasil ini diperkuat oleh hasil uji T yang menunjukkan nilai t hitung $5,241 < t$ tabel $12,71$, yang menunjukkan tidak adanya pengaruh signifikan terhadap perubahan nilai TSS. Begitu juga dengan analisis terhadap variasi nilai HLR terhadap penurunan kadar TDS, nilai signifikansi diperoleh sebesar $0,082 > 0,05$, hal ini menunjukkan bahwa variasi nilai HLR tidak berpengaruh signifikan terhadap efektivitas penyisihan TDS. Hasil ini diperkuat oleh hasil uji T yang menunjukkan nilai t

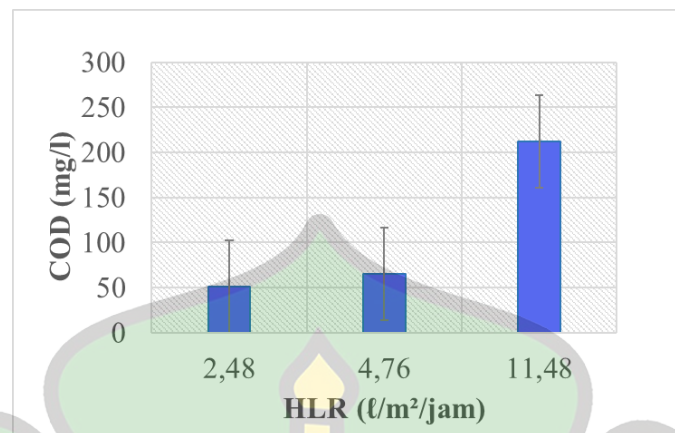
hitung $7,744 < t$ tabel $12,71$, yang menunjukkan tidak adanya pengaruh signifikan terhadap perubahan nilai TDS.

Hasil analisis variasi HLR terhadap penurunan nilai kekeruhan menunjukkan nilai signifikansi $0,158 > 0,05$, yang menunjukkan bahwa variasi nilai HLR tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap efektivitas pengurangan nilai kekeruhan. Hasil ini juga didukung oleh hasil uji T yang menunjukkan bahwa tidak terdapat perubahan nilai kekeruhan yang signifikan dengan variasi nilai HLR, dengan nilai t hitung sebesar $3,957 < t$ tabel $12,71$.

Tabel 4. 3 Hasil dan Efektivitas (%) pengukuran COD sesudah perlakuan variasi nilai HLR

Variasi HLR ($\ell/m^2/jam$)	COD (mg/L)	Ef COD (%)
11,48	212	98,58
4,76	65	99,56
2,48	51	99,66

Tabel 4.3 nilai COD limbah cair industri tahu, menunjukkan bahwa efektivitas variasi HLR dalam penurunan kadar COD meningkat seiring dengan penurunan nilai HLR. Penyisihan kadar COD berdasarkan tiga variasi nilai HLR ditunjukkan pada Gambar 4.5. Berdasarkan Tabel 4.3 penggunaan variasi nilai HLR mampu mendegradasi polutan dengan persentase penurunan COD mencapai 99,66%. Adapun hasil pengukuran nilai COD terjadi penurunan yang sangat signifikan dengan penggunaan HLR $2,48 \text{ L}/m^2/jam$ seperti ditunjukkan pada Tabel 4.3.



Gambar 4.5 Grafik perubahan konsentrasi COD terhadap variasi nilai HLR

Konsentrasi penurunan COD terhadap variasi HLR ditunjukkan pada Gambar 4.5. Gambar 4.5 menunjukkan bahwa, tahap pertama proses pengolahan MSL yaitu pada variasi HLR 11,48 L/m²/jam nilai COD sebesar 212 mg/L. Sedangkan pada HLR 4,76 L/m²/jam nilai COD sebesar 65 mg/L dan pada HLR 2,48 L/m²/jam nilai COD mencapai 51 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi COD berbanding lurus dengan variasi nilai HLR. Semakin rendah nilai HLR yang digunakan, semakin rendah nilai COD yang dihasilkan. Penurunan ini disebabkan oleh proses absorpsi fisikokimia dan nitrifikasi pada lapisan SMB dan lapisan batuan. Lapisan SMB dan lapisan batuan berperan dalam menyerap amonium (NH₄⁻N) yang kemudian menjadi nitrat (NO₃) dan berdifusi secara bertahap. Setelah nitrifikasi, NO₃ terjadi denitrifikasi menjadi nitrogen dioksida (N₂O) yang kemudian menjadi nitrogen (N₂), sehingga zat organik pada limbah tereduksi dan tingkat penyisihan pada COD meningkat (Latrach dkk., 2016; Song dkk., 2018). Adanya proses filtrasi, absorpsi dan nitrifikasi pada lapisan *anaerob* meningkatkan kadar O₂ sehingga tingkat terjadi peningkatan penyisihan zat organik dan zat tersuspensi (Ho dan Wang, 2017). Menurut Song dkk. (2018) zat organik juga terdegradasi pada proses dekomposisi oleh mikroorganisme yang ada pada lapisan *anaerob*.

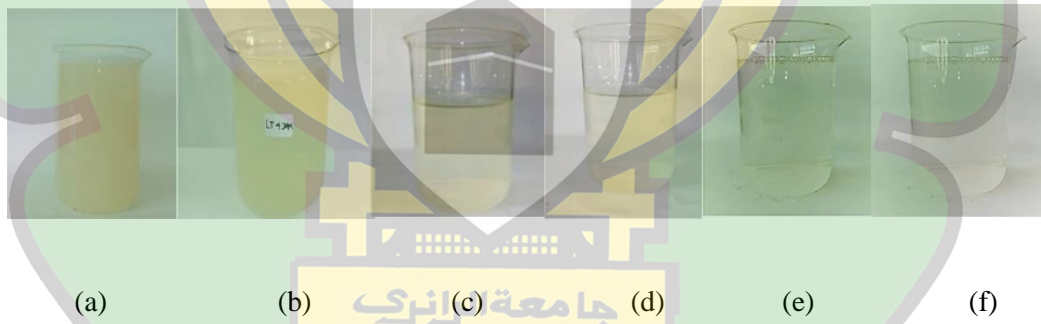
Penurunan nilai HLR dapat meningkatkan waktu retensi air limbah dalam sistem pengolahan, sehingga meningkatkan kinerja material dalam menyerap, bereaksi dan menghilangkan zat organik pada limbah serta meningkatkan efisiensi

penyisihan kadar pencemar (Taouraout dkk., 2019). Menurut (Ho dan Wang 2017; Latrach dkk. 2017 dan Sbahi dkk. 2020) menunjukkan bahwa penggunaan nilai HLR yang rendah pada pengolahan limbah dapat menghasilkan penurunan yang signifikan dan hasil yang lebih optimal.

Hasil analisis variasi HLR terhadap penurunan nilai COD menunjukkan nilai signifikansi $0,107 > 0,05$, yang menunjukkan bahwa variasi nilai HLR tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap efektivitas pengurangan nilai COD. Hasil ini juga didukung oleh hasil uji T yang menunjukkan bahwa tidak terdapat perubahan nilai COD yang signifikan dengan variasi nilai HLR, dengan nilai t hitung sebesar $5,912 < t$ tabel 12,71.

4.3 Efektivitas Sistem MSL variasi *Hydraulic Retention Time* (HRT)

Penampakan fisik limbah cair industri tahu dalam variasi HRT sebelum dan sesudah eksperimen dapat dilihat pada Gambar 4.6. Pada Gambar 4.6 terlihat bahwa limbah industri tahu sebelum pengolahan cenderung terlihat lebih keruh, namun setelah proses pengolahan dengan variasi nilai HRT menjadi lebih jernih.

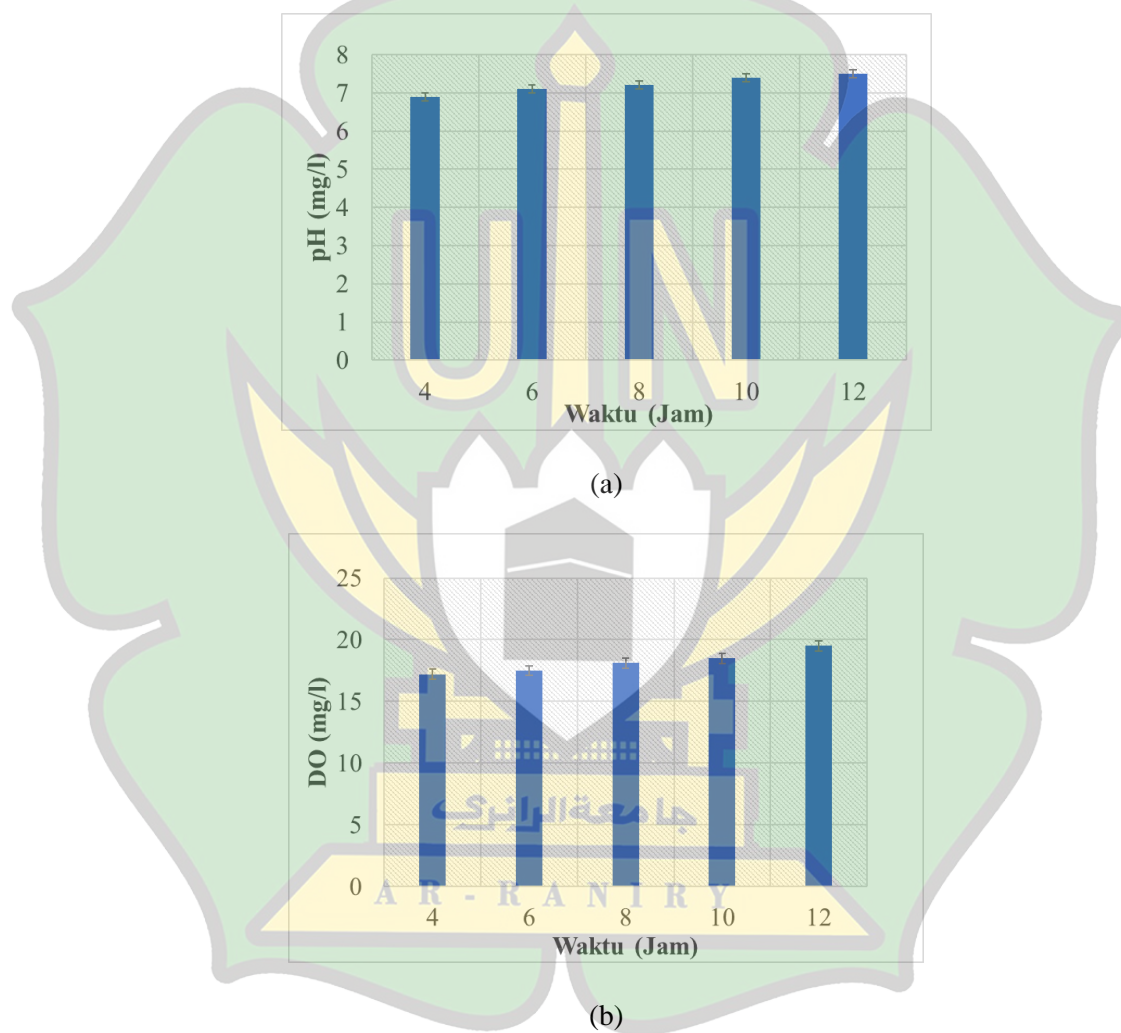


Gambar 4. 6 Limbah cair industri tahu (a) sebelum pengolahan; (b) HRT 4 jam; (c) HRT 6 jam; (d) HRT 8 jam; (e) HRT 10 jam dan (f) HRT 12 jam

Tabel 4. 4 Hasil dan Efektivitas (%) pengukuran pH dan DO sesudah perlakuan dengan variasi nilai HRT

Variasi HRT (Jam)	pH	DO (mg/L)	Ef DO (%)
4	6,9	17,2	1,77
6	7,1	17,5	3,55
8	7,2	18,1	7,1
10	7,4	18,5	9,46
12	7,5	19,5	15,38

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa nilai pH berbanding lurus dengan variasi nilai HRT yang diberikan. Gambar 4.7 (a) menunjukkan nilai pH meningkat secara berturut-turut seiring dengan peningkatan nilai HRT. Pada waktu 4 jam nilai pH 6,9 yang terdeteksi asam, namun dengan peningkatan nilai HRT, nilai pH berturut-turut menjadi netral pada waktu 6 jam nilai pH 7,1, pada waktu 8 jam nilai pH 7,2, pada waktu 10 jam nilai pH 7,4 dan pada waktu 12 jam nilai pH 7,5.



Gambar 4.7 Grafik perubahan konsentrasi pH dan DO terhadap variasi nilai HRT dalam sistem MSL (a) Konsentrasi pH dan (b) Konsentrasi DO

Peningkatan nilai pH disebabkan oleh adanya proses denitrifikasi yang terjadi pada lapisan SMB pada saat waktu *hydraulic* sehingga terjadi penurunan kadar keasaman limbah (Hong dkk. 2019; Ren dkk. 2022 dan Latrach dkk. 2017). Pada proses denitrifikasi, nitrat direduksi menjadi gas nitrogen. Kandungan proton

pada lumpur sedimentasi PDAM menyerap elektron pada gas nitrogen, sehingga terjadi pertukaran ion dan mengakibatkan perubahan pH dari asam menjadi netral pada limbah cair industri tahu.

Hasil uji regresi linier untuk memperlihatkan pengaruh variasi HRT terhadap efektivitas pengaturan kadar pH, dapat ditemukan pada lampiran. Hasil analisis variasi nilai HRT terhadap peningkatan nilai pH menunjukkan nilai signifikansi $0,001 < 0,05$, yang menandakan bahwa variasi nilai HRT mempengaruhi efektivitas pengaturan pH. Hasil ini didukung oleh hasil uji T, yang menunjukkan bahwa analisis variasi nilai HRT terhadap parameter pH memiliki nilai t hitung $15,0 > t$ tabel $3,182$. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pada perubahan nilai pH.

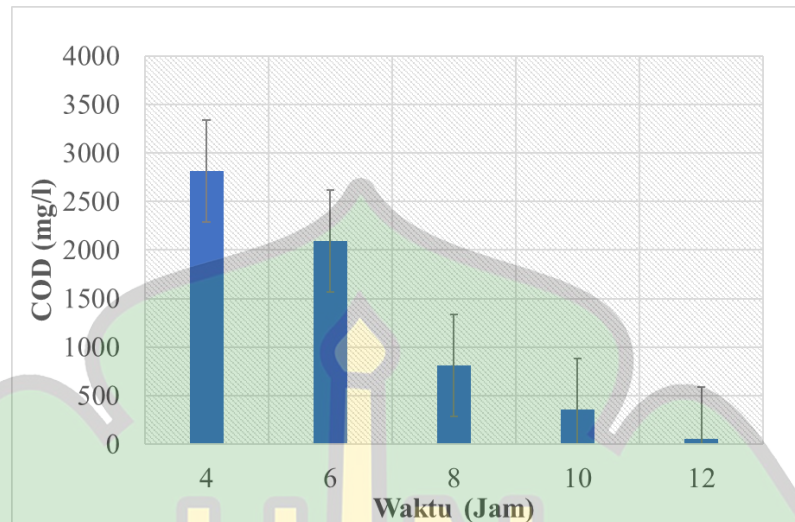
Gambar 4.7 (b) menunjukkan bahwa konsentrasi nilai oksigen terlarut pada limbah cair industri tahu terhadap variasi nilai HRT. Gambar 4.6 (b) memperlihatkan bahwa peningkatan nilai DO berbanding lurus dengan peningkatan nilai HRT. Pada waktu 4 jam dan 6 jam nilai DO yaitu 17,2 dan 17,5, dengan peningkatan nilai HRT nilai DO semakin meningkat. Pada waktu 8 jam nilai DO 18,1, pada waktu 10 jam nilai DO 18,5 dan pada waktu 12 jam nilai DO 19,5. Peningkatan nilai DO terjadi karena adanya proses degradasi yang terjadi pada lapisan SMB dan peningkatan waktu *hydraulic* meningkatkan waktu kontak langsung antara limbah, lapisan anaerob dan udara (Hong dkk. 2019; Ren dkk. 2022).

Hasil uji regresi linier menunjukkan bahwa variasi nilai HRT memiliki pengaruh terhadap efektivitas kadar DO, seperti terlihat pada lampiran. Analisis variasi nilai HRT terhadap kenaikan nilai DO menunjukkan nilai signifikansi sebesar $0,004 < 0,05$, yang menunjukkan adanya pengaruh variasi nilai HRT terhadap efektivitas DO. Hasil tersebut didukung oleh uji T, di mana analisis variasi nilai HRT terhadap parameter DO menunjukkan nilai t hitung sebesar $8,317 > t$ tabel $3,182$, menunjukkan adanya pengaruh pada perubahan nilai DO.

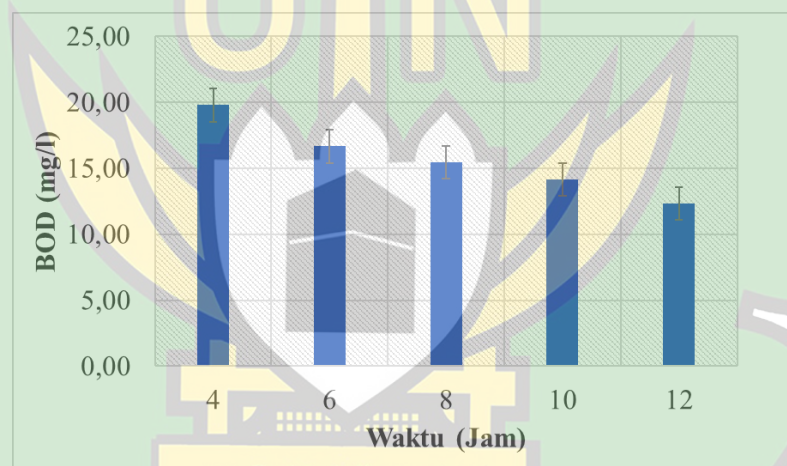
Tabel 4. 5 Hasil dan Efektivitas (%) pengukuran COD dan BOD dan sesudah perlakuan dengan variasi nilai HRT

Variasi HRT (Jam)	COD (mg/L)	Ef COD (%)	BOD (mg/L)	Ef BOD(%)
4	2813	47,53	19,78	21,5
6	2093	60,96	16,66	33,88
8	811	84,87	15,45	38,69
10	355	93,37	14,14	42,69
12	56	98,95	12,32	51,11

Tabel 4.5 nilai COD dan BOD limbah cair industri tahu, menunjukkan bahwa efektivitas variasi nilai HRT dalam proses penyisihan zat organik dan nutrisi meningkat seiring dengan peningkatan nilai HRT. Penyisihan kadar COD dan BOD berdasarkan variasi nilai HRT ditunjukkan pada Gambar 4.8 (a), Gambar 4.8 (b) dan Gambar 4.8 (c). Berdasarkan Tabel 4.5 penggunaan variasi nilai HRT mampu mendegradasi polutan dengan persentase penurunan COD mencapai 98,95% dan BOD mencapai 51,11%. Sedangkan hasil pengukuran nilai COD dan BOD terjadi penurunan yang sangat signifikan dengan penggunaan HRT 12 jam seperti ditunjukkan pada Tabel 4.5.



(a)



(b)

Gambar 4.8 Grafik perubahan konsentrasi tiap parameter terhadap variasi nilai HRT (a) konsentrasi COD dan (b) Konsentrasi BOD

Perubahan konsentrasi COD pada limbah industri tahu terhadap variasi nilai HRT ditunjukkan pada Gambar 4.8 (a), pada waktu kontak 4 jam, 6 jam dan 8 jam nilai COD sebesar 2813 mg/L, 2093 mg/L dan 811 mg/L dan waktu 10 dan 12 jam konsentrasi COD mengalami penurunan menjadi 355 mg/L dan 56 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa, semakin lama waktu kontak, semakin rendah kadar COD. Menurut Koottatep dkk. (2018) peningkatan waktu

hydraulic meningkatkan efisiensi lapisan SMB dalam mengabsorpsi zat organik yang ada pada limbah dan meningkatkan penyisihan nilai COD. Semakin lama waktu kontak limbah dengan material, semakin rendah nilai COD yang dihasilkan. Penurunan ini disebabkan oleh proses absorpsi fisikokimia dan nitrifikasi pada lapisan SMB dan lapisan batuan. Lapisan SMB dan lapisan batuan berperan dalam menyerap amonium (NH_4^-N) yang kemudian menjadi nitrat (NO_3) dan berdifusi secara bertahap. Setelah nitrifikasi, NO_3 terjadi denitrifikasi menjadi nitrogen dioksida (N_2O) yang kemudian menjadi nitrogen (N_2), sehingga zat organik pada limbah tereduksi dan tingkat penyisihan pada COD meningkat (Latrach dkk., 2016; Song dkk., 2018). Adanya proses filtrasi, absorpsi dan nitrifikasi pada lapisan *anaerob* meningkatkan kadar O_2 sehingga tingkat terjadi peningkatan penyisihan zat organik dan zat tersuspensi (Ho dan Wang, 2017).

Hasil uji regresi linier mengenai variasi HRT terhadap efektivitas penyisihan COD dapat dilihat pada lampiran. Analisis variasi nilai HRT terhadap penurunan konsentrasi COD menunjukkan nilai signifikansi $0,006 < 0,05$, menunjukkan bahwa variasi nilai HRT berpengaruh terhadap efektivitas penyisihan COD. Hasil ini diperkuat oleh uji T, di mana analisis variasi nilai HRT terhadap parameter COD menunjukkan nilai t hitung sebesar 7,124 yang lebih besar dari nilai t tabel 3,182. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pada perubahan nilai COD dan efektivitas penyisihan COD meningkat seiring dengan peningkatan nilai HRT.

Gambar 4.8 (b) menunjukkan penurunan konsentrasi BOD terhadap variasi nilai HRT. Pada waktu kontak 4 jam, 6 jam, 8 jam nilai BOD secara berturut-turut adalah: 19,78 mg/L, 16,66 mg/L, 15,45 mg/L, dan seiring dengan peningkatan nilai HRT yang digunakan, penurunan konsentrasi BOD semakin meningkat. Pada waktu kontak 10 jam 12 jam nilai BOD sebesar 14,14 mg/L dan 12,32 mg/L. Penurunan nilai BOD berkaitan dengan besarnya senyawa organik yang terurai secara biologi. Mikroorganisme yang ada pada lapisan *anaerob* mendegradasi senyawa organik yang ada pada limbah. Pada tahapan

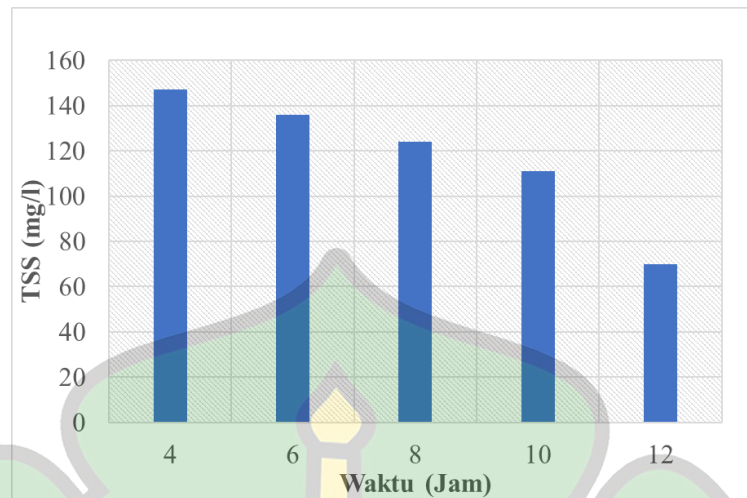
ini terjadi proses dekomposisi senyawa organik oleh mikroorganisme yang ada pada SMB (Zhou dkk., 2021).

Hasil uji regresi linier untuk variasi nilai HRT terhadap efektivitas penurunan kadar BOD dapat dilihat pada lampiran. Hasil analisis variasi HRT terhadap penurunan nilai BOD menunjukkan nilai signifikansi $0,003 < 0,05$, menunjukkan bahwa variasi nilai HRT berpengaruh terhadap efektivitas penurunan BOD. Hasil ini diperkuat oleh hasil uji T, di mana analisis variasi nilai HRT terhadap parameter pH menunjukkan nilai t hitung $9,240 > t$ tabel $3,182$, menunjukkan adanya pengaruh terhadap perubahan nilai BOD.

Tabel 4. 6 Hasil dan Efektivitas (%) pengukuran TSS sesudah perlakuan variasi nilai HRT

Variasi HRT (Jam)	TSS (mg/L)	Ef TSS (%)
4	147	43,46
6	136	47,69
8	124	53,3
10	111	57,3
12	70	73,07

Tabel 4.6 nilai TSS limbah cair industri tahu, menunjukkan bahwa efektivitas variasi nilai HRT dalam penurunan kadar TSS meningkat seiring dengan peningkatan nilai HRT. Penyisihan kadar TSS berdasarkan variasi nilai HRT ditunjukkan pada Gambar 4.9. Berdasarkan Tabel 4.6 penggunaan variasi nilai HRT mampu mendegradasi polutan dengan persentase penurunan TSS mencapai 73,07%. Adapun hasil pengukuran nilai TSS terjadi penurunan yang sangat signifikan dengan penggunaan HRT 12 jam seperti ditunjukkan pada Tabel 4.6.



Gambar 4. 9 Grafik perubahan konsentrasi TSS terhadap variasi nilai HRT

Penyisihan kadar TSS terhadap variasi nilai HRT ditunjukkan pada Gambar 4.8 yang menunjukkan bahwa pada waktu kontak 4 jam, 6 jam dan 8 jam nilai TSS secara berturut-turut adalah 147 mg/L, 136 mg/L dan 124 mg/L. Peningkatan yang signifikan seiring dengan peningkatan nilai HRT terjadi pada waktu 10 dan 12 jam yaitu sebesar 111 mg/L dan 70 mg/L. Hal ini dapat dijelaskan oleh adanya tahapan filtrasi dan adsorpsi pada lapisan SMB, zeolit dan kerikil yang meningkatkan penyisihan senyawa organik dan zat tersuspensi yang ada pada limbah. Selain itu, peningkatan waktu *hydraulic* juga meningkatkan efisiensi lapisan SMB dalam mengadsorpsi zat organik sehingga efektivitas pengolahan meningkat (Ho dan Wang 2017; Koottatep dkk. 2018).

Hasil uji regresi linier untuk variasi nilai HRT terhadap efektivitas penyisihan TSS dapat ditemukan pada lampiran. Hasil analisis variasi nilai HRT terhadap penurunan nilai TSS menunjukkan nilai signifikansi sebesar $0,013 < 0,05$, menunjukkan bahwa variasi nilai HRT memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efektivitas penyisihan TSS. Hasil ini diperkuat oleh hasil uji t, di mana nilai t hitung sebesar $5,247 >$ nilai t tabel sebesar 3,182, menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pada perubahan nilai TSS.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, pemanfaatan lumpur sedimentasi PDAM sebagai material MSL sangat direkomendasikan dalam pengolahan limbah cair industri tahu. Gambar 4.10 menunjukkan contoh

implementasi reaktor MSL. Dalam implementasi metode MSL, reaktor dilengkapi dengan pompa aerasi, yang berfungsi untuk supley oksigen dan dilengkapi dengan pipa *inlet* dan pipa *outlet*.

Berdasarkan studi yang telah dilakukan oleh Armi (2019) dan berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan di salah satu pabrik tahu di Banda Aceh dalam pengolahan 100 kg kedelai dapat menghasilkan limbah cair sebanyak 150 – 430 liter per hari, maka dengan ukuran reaktor pengolahan 31 cm × 22,5 cm × 60 cm dapat direncanakan implementasi MSL dalam pengolahan limbah cair industri tahu pada variasi HLR dibutuhkan reaktor pengolahan sekitar 13 – 36 reaktor dan dibutuhkan bak sedimentasi sekitar 13 – 26 bak dan rencana implementasi variasi HRT dibutuhkan reaktor pengolahan berkisar antara 48 – 108 reaktor. Adapun total biaya keseluruhan material yang digunakan berkisar Rp.358.000 per reaktor.



Gambar 4.10 Contoh Implementasi Reaktor MSL

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang diperoleh, maka dapat diambil kesimpulan mengenai pengolahan MSL menggunakan variasi nilai HLR dan variasi nilai HRT, yaitu:

1. Pemanfaatan lumpur sedimentasi PDAM sebagai material MSL menggunakan variasi nilai HLR efektif terhadap penurunan serta degradasi dari limbah cair industri tahu. Tingkat efektivitas paling tinggi terjadi pada HLR 2,48 L/m²/jam. Nilai perubahan pH dan DO menjadi 19,5 mg/L dan menjadi 7,4 dan efektivitas degradasi nilai TSS mencapai 76,32%, degradasi nilai TDS mencapai 75,21 %, degradasi kekeruhan mencapai 99,69% dan degradasi COD mencapai 99,66%.
2. Pemanfaatan lumpur sedimentasi PDAM sebagai material MSL menggunakan variasi nilai HRT efektif terhadap penurunan serta degradasi dari limbah cair industri tahu. Tingkat efektivitas paling tinggi terjadi pada nilai HRT 12 jam. Nilai perubahan pH dan DO menjadi 19,5 mg/L dan menjadi 7,5 dan efektivitas degradasi nilai COD mencapai 98,95%, degradasi nilai BOD mencapai 51,11% dan degradasi TSS mencapai 73,7%.

B. Saran

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

1. Penelitian selanjutnya hendaknya melakukan pengujian terhadap parameter lain yang belum dilakukan pada penelitian ini, seperti Nitrat, minyak dan lemak.
2. Penelitian selanjutnya hendaknya menggunakan ukuran zeolit yang seragam agar hasil kerja dari sistem maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Aba, R. P., Mugani, R., Hejjaj, A., Fraissinette, N. B. De, Oudra, B., Ouazzani, N., Campos, A., Vasconcelos, V., Carvalho, P. N., dan Mandi, L. (2021). *First Report on Cyanotoxin (MC-LR) Removal from Surface Water by Multi-Soil-Layering (MSL) Eco-Technology: Preliminary Results.*
- Ahmad, T., Ahmad, K., Ahad, A., dan Alam, M. (2017). Characterization of water treatment sludge and its reuse as coagulant. *Journal of Environmental Management*, 182, 606–611.
- Anwar, R., Devia, Y. P., dan Rahman, A. A. (2018). Studi Evaluasi Pengolahan Air Limbah Industri Secara Terpusat Di Kawasan Industri Rembang Pasuruan (Pier). *Jurnal Rekayasa Sipil*, 2(3).
- 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(December 2020), 100061.
- Basir, M. I. (2019). Pemanfaatan Lahan Bekas Penggalian Tanah Pembuatan Batu Bata Untuk Persawahan Di Desa Gentungang Kecamatan Bajeng Barat Kabupaten Gowa. *Jurnal Environmental Science*, 1(2).
- Cahyani, M. R., Zuhaela, I. A., Saraswati, T. E., Raharjo, S. B., Pramono, E., Wahyuningsih, S., Lestari, W. W., dan Widjonarko, D. M. (2021). Pengolahan Limbah Tahu dan Potensinya. *Proceeding of Chemistry Conferences*, 6, 27.
- Chen, Y. C., dan Pat, H. W. (2021). Comparing natural red soil and irons for removal of phosphorus from wastewater using the multi-soil-layering system and its economic analysis. *Journal of Environmental Management*, 296(June), 113252.
- Cookson, M. D., dan Stirk, P. M. R. (2019). Analisa Kualitas Limbah Cair Industri Tahu Dan Strategi Pengelolaan Penanganan Limbah Cair Industri Tahu Wilayah Kabupaten Rejang Lebong. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 10.

- D.Sasmoko, H.Rasminto, dan Rahmadani. (2019). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kekerusuhan Air Berbasis IoT pada Tandon Air Warga. *INFORMATIKA*, 5(1), 25–34.
- Fauzul, A., Albab, dan Astutik, S. (2021). Penerapan Pendekatan Accelerated Learning dengan Metode Whole Brain Teaching dalam Pembelajaran Fisika Di SMP. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 1(1), 1–7.
- Gustiana, E. G., dan Widayatno, T. (2020). Penurunan Kadar COD, BOD dan TSS Limbah Cair Pabrik Tahu. *The 11th University Research Colloquium 2020 Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta*, 72–78.
- Hadrah, H., Kasman, M., dan Septiani, K. T. (2019). Analisis Penurunan Parameter Pencemar Limbah Cair Laundry dengan Multi Soil Layering (MSL). *Jurnal Daur Lingkungan*, 2(1), 36.
- 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.
- Haribowo, R., Prayogo, T. B., Shaleha, N. N., Hafni, K. N., Brawijaya, U., Timur, J., dan Sumatra, N. (2020). *Performance of multi-soil-layering (MSL) urban domestic. III(01)*, 37–50.
- Hasan, R. A. (2018). Penyisihan BOD Dan COD Dari Limbah Cair Penyamakan Kulit Dengan Metode Multi Soil Layering (MSL) (Studi Kasus: Air Limbah Penyamakan Kulit UPTD Pengolahan Kulit Padang Panjang). *TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS*.
- 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., and 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.
- Ho, C. C., dan Wang, P. H. (2017). Efficiency of a multi-soil-layering system

on wastewater treatment using environment-friendly filter materials. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(3), 3362–3380.

Hong, Y., Huang, G., An, C., Song, P., Xin, X., Chen, X., Zhang, P., Zhao, Y., dan Zheng, R. (2019). Enhanced nitrogen removal in the treatment of rural domestic sewage using vertical-flow multi-soil-layering systems: Experimental and modeling insights. *Journal of Environmental Management*, 240(November 2018), 273–284.

Idrus, I., Wahab, S., Nugraha, A. F., dan Bachri, S. (2021). Analisis Senyawa β -Karoten pada Buah Pepaya (*Carica papaya* L.) Asal Kabupaten Konawe Selatan, Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi (INSTEK)*, 4(2), 1–7.

Irmanto, Suyata, dan Zufahair. (2020). Optimasi Penurunan Cod, Bod, Dan Tss Limbah Cair Industri Etanol (Vinasse) Psa Palimanan Dengan Metode Multi Soil Layering (MSL). *The Japanese Journal of Rehabilitation Medicine*, 57(6), 571–573.

Ivontianti, W. D., Rakasiwi, R. R., dan Asniawati, D. (2020). Pengaruh Penambahan Lumpur PDAM dan Zeolit sebagai Media Imobilisasi Bakteri terhadap Produksi Biogas dari Limbah Organik Pasar (Effect of Addition PDAM Sludge and Zeolite as Bacterial Immobilization Media on Biogas Production from Organic Waste). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 8(2), 058.

Ivontianti, W. D., Sitanggang, E. P. O., dan Rezeki, E. S. (2021). Pengolahan Limbah Cair Lindi Menggunakan Multi Soil Layering (MSL) Bebas Lumpur PDAM. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 5(3), 228–237.

Karima, N., Ilyas, N. I., dan Ardiatma, D. (2022). Penyisihan BOD dan COD dari Limbah Domestik Dengan Metode Multi Soil Layering (MSL). *SAINTEK: Sains Dan Teknologi Vol.1, 1(1)*, 525–532.

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.

- Kasman, M., Riyanti, A., Sy, S., dan Ridwan, M. (2018). Reduksi pencemar limbah cair industri tahu dengan tumbuhan melati air (*Echinodorus palaefolius*) dalam sistem kombinasi constructed wetland dan filtrasi. *Jurnal Litbang Industri*, 8(1), 39.
- Koottatep, T., Suksiri, P., Pussayanavin, T., dan Polprasert, C. (2018). Development of a Novel Multi-soil Layer Constructed Wetland Treating Septic Tank Effluent with Emphasis on Organic and Ammonia Removals. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(8).
- Kusumaningtyas, A., dan Nuraini, Y. (2017). Pengaruh Kecepatan Dekomposisi Pupuk Organik Cair Limbah Tahu Terhadap Serapan N Dan S Tanaman Jagung Pada Alfisol. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 2(2), 227–235.
- Lakherwal, D. (2017). Adsorption of Heavy Metals. *Journa of Environmental Research and Development*, 2(October), 41–48.
- Latrach, L., Ouazzani, N., Hejjaj, A., Mahi, M., Masunaga, T., dan Mandi, L. (2017). Two-stage vertical flow multi-soil-layering (MSL) technology for efficient removal of coliforms and human pathogens from domestic wastewater in rural areas under arid climate. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(1), 64–80.
- Latrach, L., Ouazzani, N., Masunaga, T., Hejjaj, A., Bouhoum, K., Mahi, M., dan Mandi, L. (2016). 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.
- Listyaningrum, R. (2022). Analisis Kandungan DO, BOD, COD, TS, TDS, TSS dan Analisis Karakteristik Fisikokimia Limbah Cair Industri Tahu di UMKM Daerah Imogiri Barat Yogyakarta Ristyana Listyaningrum Fisikokimia Limbah Cair Industri Tahu di UMKM Daerah Imogiri Barat Yogyakarta. *Teknologi Industri*, June.
- Liu, dan Dawei. (2018). *Bio-hydrogen Production by Dark Fermentation from Organic Wastes and Residues*.

- Luluk, E., dan Suprihatin, -. (2019). Kombinasi Proses Aerasi, Adsorpsi, Dan Filtrasi Pada Pengolahan Air Limbah Industri Perikanan. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 2(1), 79–83.
- 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.
- Masunaga, T., Sato, K., Mori, J., Shirahama, M., Kudo, H., dan Wakatsuki, T. (2017). Characteristics of wastewater treatment using a multi-soil-layering system in relation to wastewater contamination levels and hydraulic loading rates: Original article. *Soil Science and Plant Nutrition*, 53(2), 215–223.
- Nabila, Z. D., dan Isroah, I. (2019). Pengaruh Kewajiban Moral Dan Lingkungan Sosial Terhadap Kepatuhan Wajib Pajak Orang Pribadi Pengusaha. *Nominal: Barometer Riset Akuntansi Dan Manajemen*, 8(1), 47–58.
- 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).
- Nugraha, I. W. T., Kustono, D., dan Al Irsyad, M. (2021). Efektifitas Pencampuran Poly Aluminium Chloride (PAC) dan Penyaringan Menggunakan Pasir Zeolit serta Arang Aktif dalam Mengurangi Kandungan Amonia Limbah Cair Industri Kulit. *Sport Science and Health*, 3(9), 709–719.
- Nugteren, H. W., Butselaar-Orthlieb, V. C. L., dan Izquierdo, M. (2017). High strength geopolymers produced from coal combustion fly ash. *Global Nest Journal*, 11(2), 155–161.
- Pangestu, W. P., Sadida, H., dan Vitasari, D. (2021). Pengaruh Kadar BOD, COD, pH dan TSS Pada Limbah Cair Industri Tahu dengan Metode Media

- Filter Adsorben Alam dan Elektrokoagulasi. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, 6(2), 74–80.
- Prawirodigdo, S., dan Utomo, B. (2018). Inovasi Teknologi dekomposisi limbah organik dalam penyediaan pakan. *Wartazoa*, 21(2), 60–71.
- Prayitno, P., Rulianah, S., dan Nurmahdi, H. (2020). Pembuatan Biogas Dari Limbah Cair Tahu Menggunakan Bakteri Indigeneous. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 4(2), 90–95.
- Purba, M. H. W., Hakim, L., dan Wardhana, M. Y. (2020). Strategi Pengembangan Industri Kecil Tahu Solo Di Desa Punge Blang Cut Kecamatan Meuraxa Kota Banda Aceh. *Jurnal Ekonomi Pertanian Dan Agribisnis*, 4(4), 1–16.
- 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.
- Rahima, F. N., dan Widayatno, T. (2020). Penurunan Kadar Cod Bod Dan Tss Limbah Cair Industri Tahu Dengan Metode Elektrokoagulasi Secara Kontinyu Menggunakan Elektroda Besi. *Jurnal Proceeding of The URECOL*, 72–78.
- 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).
- Sakti, A. J. (2021). Gambaran Instalasi Pengolahan Air Limbah Di Pt. So Good Food Pesawaran Lampung. *Ruwa Jurai: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 13(2), 70.
- Salmariza, S. dan S. (2019). Aplikasi MSL (Multi Soil Layering) untuk Mengolah Edible Oil. *Jurnal Riset Industri*, 5, 227–238.
- Sartika, Z., Mariana, M., dan Supardan, M. D. (2019). Penurunan Kadar COD, BOD dan Nitrit Limbah Pabrik Tahu Menggunakan Karbon Aktif Ampas Bubuk Kopi. *Jurnal Serambi Engineering*, 4(2), 557–564.
- Sato, K., Wakatsuki, T., Iwashima, N., dan Masunaga, T. (2019). Evaluation

of Long-Term Wastewater Treatment Performances in Multi-Soil-Layering Systems in Small Rural Communities. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019.

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.

Selvina, M., Fahrialam, A., Anthony Wijaya, L., Rahmah Karunianti, A., dan Wayan Warmada, I. (2021). Studi Karakteristik Zeolit di Yogyakarta Serta Pemanfaatannya Sebagai Builder Agent Untuk Memproduksi Deterjen Ramah Lingkungan Study Characteristics of Zeolite in Yogyakarta and its Utilization as a Builder Agent to Produce Environmentally Friendly Deter. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 21(4), 189–196.

Shak, K. P. Y., dan Wu, T. Y. (2017). Optimized use of alum together with unmodified *Cassia obtusifolia* seed gum as a coagulant aid in treatment of palm oil mill effluent under natural pH of wastewater. *Industrial Crops and Products*, 76, 1169–1178.

Sitasari, A. N., dan Khoironi, A. (2021). Evaluasi Efektivitas Metode dan Media Filtrasi pada Pengolahan Air Limbah Tahu. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(3), 565–575.

Song, P., Huang, G., An, C., Shen, J., Zhang, P., Chen, X., Shen, J., Yao, Y., Zheng, R., dan Sun, C. (2018). Treatment of rural domestic wastewater using multi-soil-layering systems: Performance evaluation, factorial analysis and numerical modeling. *Science of the Total Environment*, 644, 536–546.

Soviana, E., Irfan, M., dan Siswanti, D. (2020). Pembuatan Kitosan dari Limbah Cangkang Kepiting untuk Mengolah Limbah Cair Tahu. *ISSN 1693-*, 14–15.

Sulianto, A. A., Kurniati, E., dan Hapsari, A. A. (2020). Perancangan Unit




- Filtrasi untuk Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Sistem Downflow Design of Domestic Waste Filtration Unit with Downflow System. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 31–39.
- Taouraout, A., Chahlaoui, A., Belghyti, D., Taha, I., Ouarrak, K., dan Sammoudi, R. (2019). Hydraulic load rates effect on the performance of Horizontal Multi-Soil-Layering to treat domestic wastewater in rural areas of Morocco. *J. Mater. Environ. Sci*, 10(5), 422–430.
- Wibisono, A., Rofik, M., dan Purwanto, E. (2019). Penerapan Analisis Regresi Linier Berganda dalam Penyelesaian Skripsi Mahasiswa. *Jurnal ABDINUS : Jurnal Pengabdian Nusantara*, 3(1), 30.
- Wibowo, E. A. P., Hardyanti, I. S., Nurani, I., Hardjono HP, D. S., dan Rizkita, A. D. (2017). Studi Penurunan Kadar Logam Besi (Fe) dan Logam Tembaga (Cu) pada Air Embung Menggunakan Adsorben Nanosilika. *Jurnal Ilmiah Sains*, 17(2), 131.
- Wicaksono, D. D., Setiawan, N. I., Wilopo, W., dan Harijoko, A. (2017). Teknik Preparasi Sampel Dalam Analisis Mineralogi Dengan XRD Di Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada. *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan Ke-10, September*, 1864–1880.
- Yuliyani, L., dan Widayatno, T. (2020). Pengaruh Variasi Waktu Tinggal Dan Kuat Arus Terhadap Penurunan Kadar COD , TSS Dan BOD Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Elektrokoagulasi Secara Kontinyu. *The 11th University Research Colloquium 2020*, 48–55.
- Zaman, B., dan Oktiawan, W. (2020). Efficiency of Multi Soil Layering (MSL) System in A Household Scale of Wastewater Treatment Using Environmental Friendly Materials. *Sustinere: Journal of Environment and Sustainability*, 4(1), 33–42.
- Zein, R., Saputra, A., dan Suhaili, R. (2020). Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Dengan Lapisan Multimedia Yang Telah Didiamkan 2 Tahun. *Jurnal Katalisator*, 5(2), 126–136.
- Zhao, W., Xie, H., Li, J., Zhang, L., dan Zhao, Y. (2021). Application of alum sludge in wastewater treatment processes: “Science” of reuse and





reclamation pathways. *Processes*, 9(4), 1–12.




Zhou, Q., Sun, H., Jia, L., Zhao, L., dan Wu, W. (2021). Enhanced pollutant removal from rural non-point source wastewater using a two-stage multi-soil-layering system with blended carbon sources: Insights into functional genes, microbial community structure and metabolic function. *Chemosphere*, 275, 130007.






LAMPIRAN**Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian**

No	Gambar	Keterangan
1.		Pengambilan air limbah
2.		Proses pembuatan SMB
3.		Proses mencetak SMB

4.		SMB yang sudah dicetak
5.		Cetakan SMB dan SMB yang sudah dikeringkan
6.		Proses penyusunan material kedalam reaktor
7.		Reaktor MSL

8.		Reaktor variasi HLR dan HRT
9.		Proses pengujian COD
10.		Proses analisis pH

11.		Proses pengujian TDS
12.		Proses pengujian TSS
13.		Proses pengukuran DO

Lampiran 2. Hasil Perhitungan

a. Variasi HLR

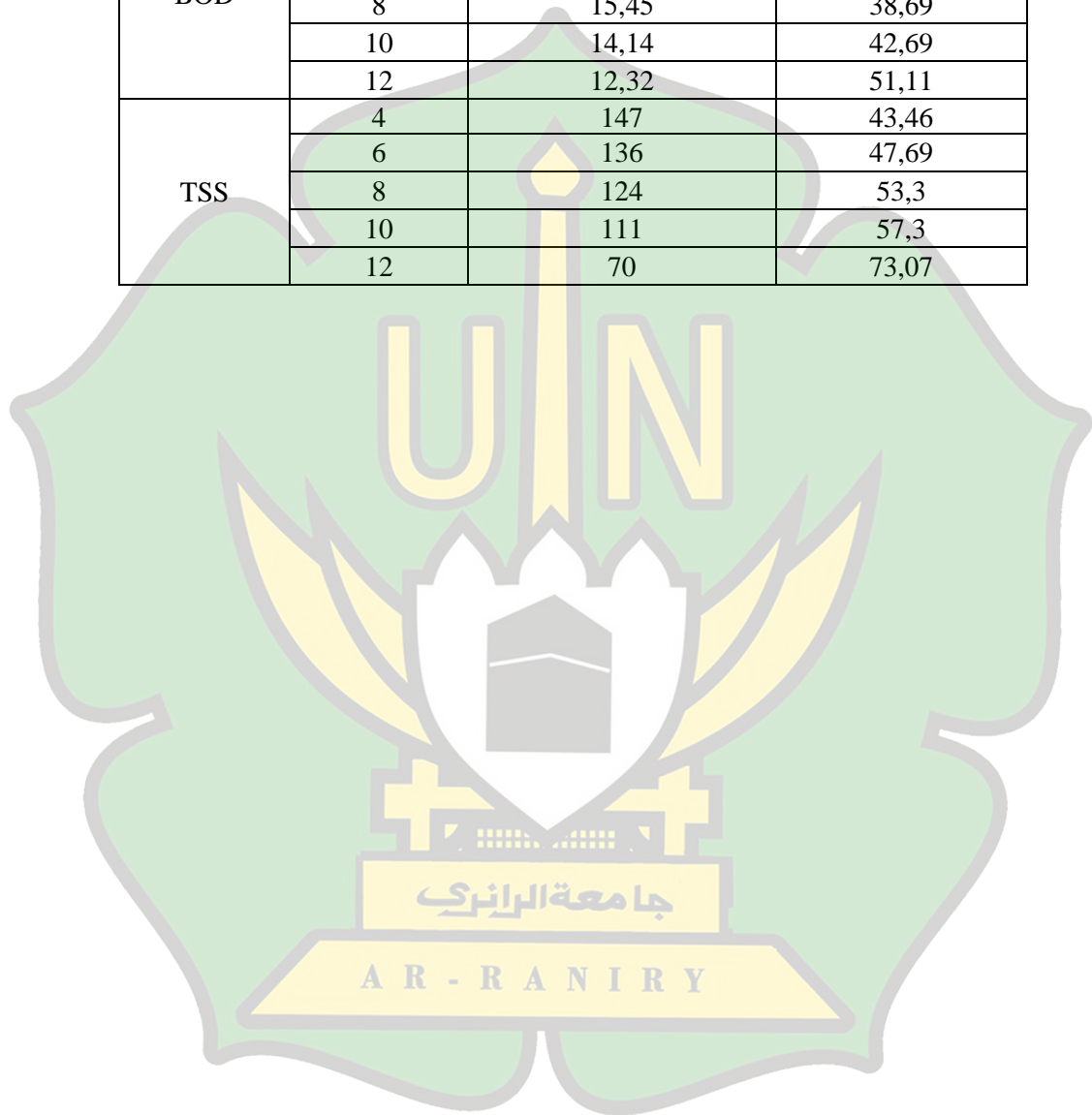
Parameter	HLR ($\ell/m^2/jam$)	Hasil Pengukuran Setelah Pengolahan (mg/L)	Efektivitas Pengolahan (%)
pH	2,48	6,6	43,47
	4,76	6,8	47,82
	11,48	7,4	60,86
DO	2,48	17,1	4,90
	4,76	18,8	15,33
	11,48	19,5	19,63
COD	2,48	212	98,58
	4,76	65	99,56
	11,48	51	99,66
TSS	2,48	181	22,12
	4,76	110	55,10
	11,48	58	76,32
TDS	2,48	673	59,01
	4,76	441	73,14
	11,48	407	75,21
Kekeruhan	2,48	13,54	98,24
	4,76	7,66	99
	11,48	2,36	99,69

Lampiran 2. Hasil Perhitungan

b. Variasi HRT

Parameter	HLR ($\ell/m^2/jam$)	Hasil Pengukuran Setelah Pengolahan (mg/L)	Efektivitas Pengolahan (%)
pH	4	6,9	21,05
	6	7,1	24,56
	8	7,2	26,31
	10	7,4	29,82
	12	7,5	31,57
DO	4	17,2	1,77
	6	17,5	3,55
	8	18,1	7,1
	10	18,5	9,46
	12	19,5	15,38
COD	4	2813	47,53
	6	2093	60,96

	8	811	84,87
	10	355	93,37
	12	56	98,95
BOD	4	19,78	21,5
	6	16,66	33,88
	8	15,45	38,69
	10	14,14	42,69
	12	12,32	51,11
TSS	4	147	43,46
	6	136	47,69
	8	124	53,3
	10	111	57,3
	12	70	73,07



Lampiran 3. Hasil analisis data melalui SPSS

a. Variasi HLR

1. pH

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HLR ^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	.848 ^a	.719	.438	.31201

a. Predictors: (Constant), HLR

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.249	1	.249	2.561	.356 ^b
	Residual	.097	1	.097		
	Total	.347	2			

a. Dependent Variable: pH

b. Predictors: (Constant), HLR

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	7.404	.345		21.462	.030
	HLR	-.075	.047	-.848	-1.600	.356

a. Dependent Variable: pH

2. TSS

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HLR ^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	.982 ^a	.965	.930	16.365

a. Predictors: (Constant), HLR

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7356.856	1	7356.856	27.470	.120 ^b
	Residual	267.811	1	267.811		
	Total	7624.667	2			

a. Dependent Variable: TSS

b. Predictors: (Constant), HLR

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	35.449	18.095		1.959	.300
	HLR	12.962	2.473	.982	5.241	.120

a. Dependent Variable: TSS

3. TDS**Variables Entered/Removed^a**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HLR ^b		Enter

a. Dependent Variable: TDS

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.992 ^a	.984	.967	26.217

a. Predictors: (Constant), HLR

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	41224.649	1	41224.649	59.976	.082 ^b
	Residual	687.351	1	687.351		
	Total	41912.000	2			

a. Dependent Variable: TDS

b. Predictors: (Constant), HLR

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	315.531	28.989		10.885	.058
	HLR	30.684	3.962	.992	7.744	.082

a. Dependent Variable: TDS

4. Kekерuhan**Variables Entered/Removed^a**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HLR ^b		Enter

a. Dependent Variable: Kekерuhan

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.970 ^a	.940	.880	1.93782

a. Predictors: (Constant), HLR

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	58.797	1	58.797	15.658	.158 ^b
	Residual	3.755	1	3.755		
	Total	62.552	2			

a. Dependent Variable: Kekерuhan

b. Predictors: (Constant), HLR

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.622	2.143		.290	.820
	HLR	1.159	.293	.970	3.957	.158

a. Dependent Variable: Kekeruhan

5. COD**Variables Entered/Removed^a**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	COD ^b		Enter

a. Dependent Variable: HLR

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.986 ^a	.972	.944	1.10353

a. Predictors: (Constant), COD

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	42.568	1	42.568	34.955	.107 ^b
	Residual	1.218	1	1.218		
	Total	43.786	2			

a. Dependent Variable: HLR

b. Predictors: (Constant), COD

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.584	1.149		.508	.701
	COD	.052	.009	.986	5.912	.107

a. Dependent Variable: HLR

6. DO

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HLR ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: DO

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.962 ^a	.925	.850	.1937

a. Predictors: (Constant), HLR

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.462	1	.462	12.327	.177 ^b
	Residual	.038	1	.038		
	Total	.500	2			

a. Dependent Variable: DO

b. Predictors: (Constant), HLR

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	20.641	.214		96.375	.007
	HLR	-.103	.029	-.962	-3.511	.177

a. Dependent Variable: DO

b. Variasi HRT

1. pH

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HRT ^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	.993 ^a	.987	.982	.0316

a. Predictors: (Constant), HRT

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.225	1	.225	225.000	.001 ^b
	Residual	.003	3	.001		
	Total	.228	4			

a. Dependent Variable: pH

b. Predictors: (Constant), HRT

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	6.620	.042		156.035	.000
	HRT	.075	.005	.993	15.000	.001

a. Dependent Variable: pH

2. COD**Variables Entered/Removed^a**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HRT ^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	.972 ^a	.944	.926	321.907

a. Predictors: (Constant), HRT

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	5259150.400	1	5259150.400	50.752	.006 ^b
	Residual	310872.800	3	103624.267		
	Total	5570023.200	4			

a. Dependent Variable: COD

b. Predictors: (Constant), HRT

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	4126.400	431.884		9.554	.002
	HRT	-.362.600	50.898	-.972	-7.124	.006

a. Dependent Variable: COD

3. BOD**Variables Entered/Removed^a**

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HRT ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: BOD

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.983 ^a	.966	.955	.59684

a. Predictors: (Constant), HRT

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	30.415	1	30.415	85.385	.003 ^b
	Residual	1.069	3	.356		
	Total	31.484	4			

a. Dependent Variable: BOD

b. Predictors: (Constant), HRT

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	22.646	.801		28.281	.000
	HRT	-.872	.094	-.983	-9.240	.003

a. Dependent Variable: BOD

4. DO

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HRT ^b	.	Enter

a. Dependent Variable: DO

b. All requested variables entered.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.979 ^a	.958	.945	.2129

a. Predictors: (Constant), HRT

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3.136	1	3.136	69.176	.004 ^b
	Residual	.136	3	.045		
	Total	3.272	4			

a. Dependent Variable: DO

b. Predictors: (Constant), HRT

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	15.920	.286		55.731	.000
	HRT	.280	.034	.979	8.317	.004

a. Dependent Variable: DO

5. TSS

Variables Entered/Removed^a

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	HRT ^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	.950 ^a	.902	.869	10.787

a. Predictors: (Constant), HRT

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	3204.100	1	3204.100	27.535	.013 ^b
	Residual	349.100	3	116.367		
	Total	3553.200	4			

a. Dependent Variable: TSS

b. Predictors: (Constant), HRT

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	189.200	14.473		13.073	.001
	HRT	-8.950	1.706	-.950	-5.247	.013

a. Dependent Variable: TSS