

**EFEKTIVITAS *MOVING BED BIOFILM REACTOR* (MBBR)
DALAM PENURUNAN KADAR PARAMETER PADA LINDI
DI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) REGIONAL
BLANG BINTANG**

SKRIPSI

Diajukan Oleh:

IZZATUL AZKIA

NIM. 200702010

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



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2025 M/1445 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

**EFEKTIVITAS *MOVING BED BIOFILM REACTOR* (MBBR)
DALAM PENURUNAN KADAR PARAMETER PADA LINDI
DI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) REGIONAL
BLANG BINTANG**

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

Diajukan Oleh:
IZZATUL AZKIA
NIM. 200702010

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

Disetujui untuk dimunaqasyahkan Oleh:

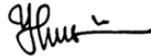
Pembimbing I

Pembimbing II


Husnawati Yahya, M.Sc.
NIP. 198311092014032002


Dr. Eng. Nur Aida, M.Si.
NIP. 197806162005012009

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan


Husnawati Yahya, M.Sc.
NIP. 198311092014032002

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
EFEKTIVITAS *MOVING BED BIOFILM REACTOR* (MBBR)
DALAM PENURUNAN KADAR PARAMETER PADA LINDI
DI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR (TPA) REGIONAL
BLANG BINTANG**

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 Gelar Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Selasa/7 Januari 2025
Selasa/7 Rajab 1446

Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir

Ketua

Husnawati Yahya, M.Sc.
NIP. 198311092014032002

Sekretaris

Dr. Eng. Nur Aida, M.Si.
NIP. 197806162005012009

Penguji I

Arief Rahman, M.T.
NIP. 198903102019031012

Penguji II

Lisa Ginayatri, S.T., M.T.
NIDK.

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU.
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Izzatul Azkia
NIM : 200702010
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Efektivitas *Moving Bed Biofilm Reactor* Dalam Penurunan Parameter Pada Lindi Di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Regional Blang Bintang

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

1. Karya tulis ini dikerjakan sendiri dan mampu untuk bertanggung jawab atas apa yang ditulis;
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya pribadi, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari dosen pembimbing;
3. Tidak menggunakan karya-karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin dari pemilik karya;
4. Tidak manipulasi data dan memalsukan data penelitian;
5. Tidak melakukan plagiasi terhadap data orang lain.

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

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

Banda Aceh, 15 Januari 2025

Yang menyatakan,


Izzatul Azkia



ABSTRAK

Nama : Izzatul Azkia
Nim : 200702010
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Efektivitas *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) Dalam Penurunan Kadar Parameter Pada Lindi Di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Regional Blang Bintang
Tanggal sidang : 7 Januari 2025
Jumlah halaman : 50
Pembimbing I : Husnawati Yahya, M.Sc.,
Pembimbing II : Dr. Eng. Nur Aida, M.Si.,
Kata kunci : Lindi, *moving bed biofilm reactor* (MBBR), efektivitas

Lindi merupakan air yang terbentuk dari timbunan sampah yang memiliki kandungan pencemar khususnya senyawa organik yang tinggi, sehingga berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dilakukan pengolahan. MBBR merupakan metode pengolahan dengan menggunakan teknologi bioreaktor dan media tertentu yang diperlukan untuk membentuk biofilm, yang berfungsi mengurai kontaminan lindi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dalam menurunkan kadar parameter lindi di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Regional Blang Bintang. Dalam penelitian ini, sampel lindi diambil dari TPA Blang Bintang dan diuji beberapa parameter seperti COD, TSS, dan pH. Proses pengolahan dilakukan dengan metode MBBR yang memvariasikan waktu tinggal dan jumlah *media kaldness*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode MBBR mampu menurunkan kadar parameter lindi COD, TSS, dan pH, namun belum memenuhi ambang baku mutu. Nilai parameter yang diturunkan memiliki hasil yang baik pada reaktor dengan media kaldness sebanyak 35% dari volume lindi dan waktu tinggal selama 72 jam. Efektivitas degradasi tiap parameter berbeda-beda, TSS mencapai nilai efektivitas sebesar 33,56 %, COD sebesar 27,21 %, dan pH pada nilai 8,6. Penggunaan metode MBBR pada penelitian ini masih belum maksimal dalam mendegradasi parameter lindi, dikarenakan tingginya senyawa organik dalam lindi tersebut.

ABSTRACT

Name : Izzatul Azkia
Student ID Number : 200702010
Departement : Environmental Engineering
Title : Effectiveness Of Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) In Reducing Levels Of Leachate Parameters At Final Processing Sites Regional Blang Bintang
Date Of Session : 7 January 2025
Number Of Pages : 53
Advisor I : Husnawati Yahya, M.Sc.,
Advisor II : Dr. Eng. Nur Aida, M.Si.,
Keywords : Leachate, Moving Bed Biofilm Reactor, Effectivness

Leachate is water formed from piles of rubbish which has a high content of pollutants, especially organic compounds, so it has the potential to pollute the environment if treatment is not carried out. MBBR is a processing method using bioreactor technology and certain media needed to form a biofilm, which functions to break down leachate contaminants. This research aims to determine the effectiveness of the Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) system in reducing levels of leachate parameters at the Blang Bintang Regional Final Processing Site. In this research, leachate samples were taken from the Blang Bintang landfill and tested for several parameters such as COD, TSS, and pH. The processing process is carried out using the MBBR method which varies the residence time and amount of caldness media. The research results showed that the MBBR method was able to reduce levels of COD, TSS and pH leachate parameters, but did not meet the quality standard threshold. The parameter values derived have good results in reactors with a caldness medium of 35% of the leachate volume and a residence time of 72 hours. The effectiveness of degradation for each parameter is different, TSS reaches an effectiveness value of 33.56%, COD is 27.21%, and pH is 8.6. The use of the MBBR method in this research is still not optimal in degrading leachate parameters, due to the high level of organic compounds in the leachate.

KATA PENGANTAR

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

Ucapan rasa syukur kepada Allah Swt karena penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Efektivitas *Moving Bed Bio-Film Reactor* (MBBR) Dalam Penurunan Kadar Parameter Pada Lindi di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Regional Blang Bintang”. Adapun Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan kurikulum pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh, untuk dapat mencapai gelar Sarjana Teknik Lingkungan.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada berbagai pihak yang telah mendukung dan membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Ayahanda Nazaruddin dan Ibunda Siti Aisyah selaku orang tua dari penulis, dan saudara-saudara kandung penulis yang tidak dapat penulis sebut namanya satu persatu namun selalu senantiasa memberikan dukungan dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini. Kemudian penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir M. Dirhamsyah, M.T., IPU selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh, dan selaku pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan tenaganya untuk membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
3. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

4. Ibu Dr. Eng. Nur Aida, M.Si., selaku dosen pembimbing II dalam penyusunan Tugas Akhir, dan selaku dosen pembimbing akademik penulis atas kesempatan dan bantuan yang diberikan kepada penulis.
5. Bapak Arief Rahman, S.T., M.T selaku dosen penguji I dalam pelaksanaan sidang Tugas Akhir penulis.
6. Ibu Lisa Ginayatri, S.T., M.T selaku dosen penguji II dalam pelaksanaan sidang Tugas Akhir penulis.
7. Seluruh dosen selingkupan Program Studi Teknik Lingkungan yang telah memberikan dan mengajarkan ilmu kepada penulis.
8. Ibu Firda Elvisa, S.E., yang telah membantu dalam proses administrasi
9. Ibu Nurul Huda, S.Pd., selaku laboran Program Studi Teknik Lingkungan yang telah banyak membantu dalam proses penelitian di laboratorium.
10. Seluruh teman-teman seangkatan Teknik Lingkungan 2020.
11. Sahabat penulis, Suci, Kamaya, dan Nadhi yang selalu memberikan semangat dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini
12. Semua pihak yang telah membantu dalam proses pelaksanaan dan penyusunan proposal tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Sebagai insan manusia, tentunya tidak luput dari kesalahan dan kekhilafan. Begitu juga dalam penulisan Tugas Akhir ini penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan atau kesalahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu demi kebaikan Tugas Akhir ini penulis mohon maaf dan meminta kritik serta saran kepada pembaca.

Banda Aceh, 2025
Penulis

Izzatul Azkia

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Controlled Landfill</i> (Penimbunan terkendali)	4
2.3 <i>Leachate Treatment Plant</i> (LTP)	4
2.4 Lindi	6
2.4.1 Parameter Lindi	7
2.4.1.1 <i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD)	7
2.4.1.2 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	8
2.4.1.3 <i>Total Suspended Solid</i> (TSS)	8
2.4.1.4 <i>Power Of Hydrogen</i> (pH)	8
2.4.1.5 Kadmium (Cd)	8
2.4.1.6 N-Total	8
2.5 Metode Pengolahan Lindi secara Biologi	9
2.5.1 Moving Bed Bio-Film Reactor (MBBR)	9
2.5.2 Kelebihan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)	9
2.5.3 Cara Kerja Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)	10

2.6 Biofilm	11
2.7 Media Kaldness.....	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Tahapan Umum Penelitian.....	13
3.2 Pengambilan Sampel.....	15
3.2.1 Lokasi Pengambilan Sampel.....	15
3.2.2 Teknik Pengambilan Sampel.....	16
3.3 Eksperimen	17
3.3.1 Desain Reaktor.....	17
3.3.2 Alat Dan Bahan Eksperimen.....	18
3.3.3 Proses Pembiakan Mikroorganisme (<i>Seeding</i>).....	19
3.3.4 Proses Pengaplikasian MBBR.....	19
3.4 Variasi Penelitian	19
3.5 Pengukuran Parameter Lindi.....	20
3.6 Analisis Data	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1. Kemampuan Metode MBBR Dalam Menurunkan Parameter Lindi TPA	21
4.2 Efektivitas Metode MBBR Dalam Penurunan Parameter Lindi.....	23
4.2.1 Efektivitas Metode MBBR Dalam Penurunan Parameter COD	23
4.2.2 Efektivitas Metode MBBR Dalam Penurunan Parameter TSS.....	24
4.2.3 Pengujian Parameter Ph Menggunakan Metode MBBR	26
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	28
5.1 Kesimpulan	28
5.2 Saran.....	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN.....	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Controlled Landfill</i> TPA Regional Blang Bintang.....	4
Gambar 2.2 Kolam Stabilisasi pada LTP TPA Regional Blang Bintang.....	6
Gambar 2.3 kolam penampung lindi TPA Regional Blang Bintang.....	6
Gambar 2.4 <i>Moving bed biofilm reactor</i>	11
Gambar 2.5 Media <i>kaldness</i> k1.....	12
Gambar 3.1 Diagram Alir penelitian.....	15
Gambar 3.2 Peta Lokasi Pengambilan Sampel	16
Gambar 3.3 Pengambilan sampel di kolam penampung (<i>buffer pond</i>).....	17
Gambar 3.4 Desain <i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (MBBR).....	18
Gambar 3.1 Media <i>kaldness</i> (a) sebelum <i>seeding</i> (b) setelah <i>seeding</i>	19
Gambar 4.1 Grafik hasil uji parameter COD setelah pengolahan dengan metode MBBR.....	23
Gambar 4.2 Grafik hasil uji parameter TSS setelah pengolahan dengan metode MBBR.....	25
Gambar 4. 3 (a) Lindi sebelum di olah (b) lindi setelah mengalami proses MBBR dan waktu tinggal 48 jam.....	26
Gambar 4.3 Grafik hasil uji parameter pH setelah pengolahan dengan metode MBBR.....	27

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku mutu lindi.....	7
Tabel 3.1 Alat dan bahan yang digunakan dalam eksperimen.....	18
Tabel 3.2 Variasi penelitian	20
Tabel 3.3 Pengukuran parameter air lindi.....	20
Tabel 4.1 Hasil Analisis awal parameter pH, TSS, COD dan Cd.....	21
Tabel 4.2 Hasil analisis parameter setelah pengolahan dengan metode MBBR...	22



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan nilai TSS.....	32
Lampiran 2. Efektivitas penyisihan TSS dan COD.....	33
Lampiran 3. Dokumentasi Uji Pendahuluan.....	36
Lampiran 4. Prosedur Pengukuran Parameter Lindi.....	38
Lampiran 5. RAB penelitian.....	40



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan penduduk yang meningkat setiap tahunnya merupakan penyebab dari meningkatnya laju pencemaran terhadap lingkungan yang menyebabkan terjadinya peningkatan timbunan sampah, dan kemudian berdampak pada peningkatan jumlah pembuangan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). TPA Regional Blang Bintang Aceh Besar menggunakan sistem *controlled landfill* (penimbunan terkendali) yang merupakan perbaikan atau pengembangan dari sistem *open dumping*. *Controlled Landfill* merupakan sistem pengelolaan sampah dengan cara membuang dan menumpuk sampah di lokasi cekung, dipadatkan dan kemudian ditimbun dengan tanah (Muthmainnah & Adris, 2020).

Penimbunan sampah yang terus menerus terjadi menghasilkan polutan berupa lindi. Lindi didefinisikan sebagai limbah cair yang dihasilkan dari perkolasi air hujan yang melewati timbunan sampah itu sendiri, sehingga mencemari tanah, air tanah dan air sungai (Darnas dkk., 2020). Pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 59 Tahun 2016 menyatakan bahwa Tempat Pemrosesan Akhir Sampah menghasilkan lindi yang berpotensi mencemari lingkungan, maka perlu dilakukan pengolahan lindi sebelum dibuang ke lingkungan.

TPA Regional Blang Bintang memiliki *leachate treatment plant* (LTP), yang terdiri dari *buffer pond*, kolam stabilisasi, yang dimana pada kolam stabilisasi terdapat tiga pengolahan umum yang terdiri dari kolam anerobik, kolam anoksik, kolam aerasi, kemudian kolam *klarifier*, kolam *tickner* dan *reedbed*. Hasil analisis awal beberapa parameter lindi tepatnya pada kolam *oulet*, menunjukkan lindi yang sudah mengalami perlakuan atau pengolahan pada LTP belum memenuhi baku mutu sehingga lindi akan menjadi masalah serius jika tidak dilakukan pengolahan dengan baik sebelum di alirkan ke lingkungan, akibatnya lindi akan menjadi bahan pencemar dan membunuh biota yang ada di perairan air tersebut karena mengandung bahan organik dan anorganik yang tinggi.

salah satu penelitian tentang pengolahan lindi dengan menggunakan metode MBBR terdahulu yang dilakukan oleh Arina Wida Imania dan Welly Herumurti (2018) menunjukkan hasil pengamatan awal diperoleh nilai kadar COD sebesar 26.000. Efektivitas penyisihan penurunan kadar COD tertinggi yaitu mencapai 42%.

Berdasarkan latar belakang penelitian di atas, maka perlu dilakukan penelitian tentang efektifitas metode MBBR dengan media *kaldness* dalam pengolahan lindi dari TPA Regional Blang Bintang untuk mengurangi beberapa parameter pencemar, sehingga diperoleh gambaran mengenai efisiensi dan kemampuan metode MBBR dalam mereduksi beberapa parameter lindi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kemampuan metode MBBR dalam pengolahan lindi TPA Regional Blang Bintang dengan metode MBBR?
2. Bagaimana efektivitas metode MBBR dalam pengolahan lindi TPA Regional Blang Bintang?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui bagaimana kemampuan metode MBBR dalam pengolahan lindi TPA Regional Blang Bintang dengan metode MBBR
2. Untuk mengetahui bagaimana efektivitas metode MBBR dalam pengolahan lindi TPA Regional Blang Bintang.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diharapkan di dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

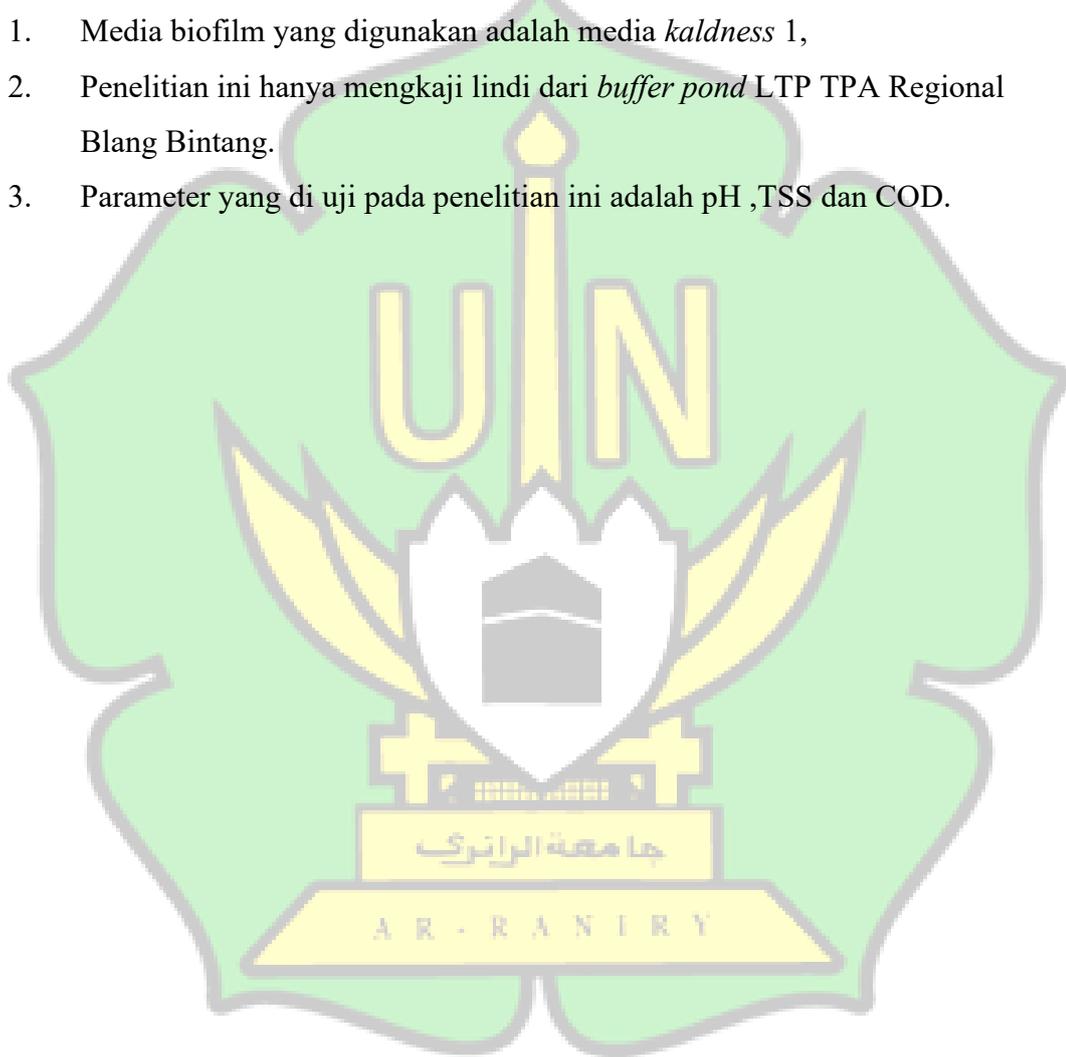
1. Memberi masukan dan informasi mengenai pengolahan lindi khususnya pada LTP TPA Regional Blang Bintang.
2. Mengembangkan pengetahuan dan pengalaman yang berhubungan dengan lindi yang dapat membahayakan manusia dan lingkungan.

3. Sebagai referensi untuk dapat meningkatkan pengetahuan mahasiswa di bidang Teknik Lingkungan.

1.5 Batasan Penelitian

Penulisan proposal ini agar nantinya dapat terlaksana dengan baik dan fokus terhadap masalah dan tujuan penelitian maka penelitian ini perlu dibatasi. Batasan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Media biofilm yang digunakan adalah media *kaldness* 1,
2. Penelitian ini hanya mengkaji lindi dari *buffer pond* LTP TPA Regional Blang Bintang.
3. Parameter yang di uji pada penelitian ini adalah pH ,TSS dan COD.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Controlled Landfill* (Penimbunan terkendali)

Konsep *Controlled Landfill* adalah penimbunan sampah yang dilakukan di dalam tanah. *Controlled Landfill* juga merupakan sistem pengelolaan atau pemusnahan sampah dengan cara membuang dan menumpuk sampah di lokasi cekung, dipadatkan dan kemudian ditimbun dengan tanah selapis demi selapis sehingga sampah tidak berada di ruang terbuka serta tidak menimbulkan bau dan menjadi sarang binatang yang bisa menimbulkan berbagai macam penyakit (Muthmainnah & Adris, 2020).



Gambar 2. 1 *Controlled Landfill* TPA Regional Blang Bintang

2.3 *Leacheate Treatment Plant* (LTP)

Leacheate Treatment Plant atau Instalasi Pengolahan Lindi adalah sebuah struktur teknik yang mencakup perangkat, peralatan, beserta perlengkapannya yang dirancang secara khusus dan sedemikian rupa untuk dapat memproses atau mengolah cairan sisa proses, sehingga sisa proses tersebut menjadi layak dibuang ke lingkungan.

TPA Regional Blang Bintang memiliki Instalasi Pengolahan Lindi yang terdiri dari kolam penampungan (*buffer pond*), kolam stabilisasi, kolam *clarifier*, kolam *tickner* dan kolam *reedbed*. Pada kolam stabilisasi terdapat tiga pengolahan umum yang terdiri dari Kolam Anaerobik, Kolam Anoksik, Kolam Aerasi.

- a. Kolam Anaerobik

Kolam anerobik merupakan kolam yang dapat menerima beban organik tinggi, kolam anaerobik sendiri berfungsi sebagai pengurai kandungan zat BOD dan COD serta padatan tersuspensi (TSS) dengan cara anaerob atau tanpa oksigen dan reaksi penguraian yang terjadi di dalam kolam anaerobik lebih cepat terjadi di wilayah yang memiliki temperatur suhu yang panas/hangat, Kolam anaerobik memiliki ukuran 15 m x 4,5 m dan memiliki kedalaman 4,5 meter serta memiliki volume 3.700 m³.

b. Kolam Anoxik

Kolam anoxik merupakan kolam yang bertujuan untuk menghilangkan senyawa nitrogen organik. karena nitrogen organik yang terdapat pada lindi dapat menimbulkan dampak negatif terhadap badan air penerima seperti dapat menurunkan kandungan oksigen terlarut, memicu terjadinya eutrofikasi dan meningkatkan kadar toksisitas suatu badan air, kolam anoxik juga dilengkapi Mixer yang difungsikan untuk terjadinya kontak antara oksigen dengan lindi, sehingga senyawa nitrogen organik terurai menjadi nitrit dan nitrat yang kemudian terurai menjadi gas nitrogen dan dilepas ke udara. Kolam anoxik memiliki ukuran 15 m x 4,5 m dan memiliki kedalaman 4,5 meter serta memiliki volume 3.700 m³.

c. Kolam Aerasi

Kolam aerasi merupakan proses terakhir yang pada kolam stabilisasi yang berada pada TPA Regional Blang-bintang ini, Kolam aerasi merupakan kolam yang didalamnya dilakukan oksidasi dengan menggunakan aerator, yang memiliki fungsi untuk menambahkan oksigen terlarut di dalam air tersebut. Kemudian yang menjadi tugas utama dari aerator ini adalah memperbesar permukaan kontak antara air dan udara, guna meningkatkan oksigen untuk memaksimalkan bakteri aerob yang terdapat pada limbah ketika pengolahan berlangsung. Kandungan oksigen terlarut minimal 2 mg/l rata-ratanya 5 mg/l. Kolam aerasi memiliki luas dengan panjang 15 m x 4,5 m dan memiliki kedalaman 3,5 meter serta memiliki volume 2.500 m³.



Gambar 2. 2 Kolam Stabilisasi pada LTP TPA Regional Blang Bintang

2.4 Lindi

Air Lindi merupakan air yang terbentuk dalam timbunan sampah yang melarutkan banyak senyawa sehingga memiliki kandungan pencemar khususnya zat organik yang tinggi (Ramadhani & Asrifah, 2020). Lindi juga didefinisikan sebagai limbah cair yang dihasilkan dari perkolasi air hujan yang melewati timbunan sampah itu sendiri (Darnas dkk., 2020). Sampah yang terakumulasi ini menghasilkan lindi yang dikumpulkan di dalam kolam penampungan. Kemampuan lindi untuk menembus tanah dapat menyebabkan pencemaran pada lingkungan sekitarnya (Laksono & Rachmanto, 2020). Lindi yang dihasilkan oleh TPA memiliki sifat toksik dan berbahaya apabila langsung terpapar pada lingkungan (Marendra, 2020). Lindi dapat menimbulkan pencemaran apabila tidak dilakukan pengelolaan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Toksisitas air lindi berasal dari kandungan senyawa kimia organik maupun anorganik serta sejumlah bakteri patogen yang terkandung di dalamnya (Mawuntu dkk., 2023).

Karakteristik lindi dapat dilihat melalui karakteristik fisik, kimia dan biologi. Karakteristik fisik yang dimiliki lindi antara lain warna, suhu, kekeruhan dan bau. Karakteristik biologis yang ada di lindi yaitu koliform, Bacillus, Micrococcus, Proteus, dan Pseudomonas. Karakteristik kimia yang ada pada lindi antara lain pH, COD, BOD, DO, alkalinitas, kesadahan, logam berat, lemak atau minyak, fenol dan sebagainya (Hariyanto dkk., 2013). Lindi juga mempunyai karakteristik yang dipengaruhi oleh curah hujan, umur *landfill* dan tingkat perkolasi air yang masuk ke *landfill*, kuantitas sampah, jenis dan komposisi sampah, tingkat

stabilisasi *landfill*, kelembaban *landfill*, posisi dan waktu pengambilan sampel. Tahapan proses degradasi pada *landfill* dimulai pada fase awal atau biasa disebut fase aerobik transisi yang berkisar 0-5 tahun, selanjutnya masa pembentukan asam dimulai dari 5-10 tahun, kemudian masuk ke fase fermentasi metan berkisar 10-20 tahun dan fase maturasi takhir berkisar lebih dari 20 tahun (Fajariyah & Mangkoedihardjo, 2017).



Gambar 2. 3 kolam penampung lindi TPA Regional Blang Bintang

2.4.1 Parameter Lindi

Terdapat beberapa parameter yang harus memenuhi standar kualitas yang berlaku untuk limbah lindi, yakni sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 59 tahun 2016 mengenai Standar Kualitas Air Lindi.

Tabel 2. 1 Baku mutu lindi

Parameter	Kadar Maksimum	
	Nilai	Satuan
pH	6-9	-
BOD	150	mg/l
COD	300	mg/l
TSS	100	mg/l
N- Total	60	mg/l
Merkuri	0,005	mg/l
Kadmium	0,1	mg/l

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2016

2.4.1.1 Biological Oxygen Demand (BOD)

Untuk mengetahui seberapa jauh beban pencemaran pada air limbah salah satu nya adalah dengan mengukur BOD. BOD merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam air lingkungan yang mempunyai peran

untuk memecah, mendegradasi atau mengoksidasi limbah organik yang terdapat di air lingkungan jika konsumsi oksigen tinggi yang ditunjukkan dengan semakin kecilnya sisa oksigen terlarut, maka berarti kandungan bahan-bahan buangan yang membutuhkan oksigen tinggi (Hartono dkk., 2019).

2.4.1.2 Chemical Oxygen Demand (COD)

Salah satu parameter kimia yang digunakan untuk mengetahui kandungan bahan pencemar didalam air adalah COD (Setyaningrum dkk., 2022). COD adalah banyaknya oksigen yang yang dikonsumsi mikroorganisme selama oksidasi bahan organik yang dapat teroksidasi dengan bantuan zat pengoksidasi, Nilai hasil pengukuran COD menentukan jumlah bahan organik yang ditemukan dalam air (Sara dkk., 2018).

2.4.1.3 Total Suspended Solid (TSS)

TSS merupakan padatan yang tidak terlarut sehingga menyebabkan terjadinya kekeruhan air. Berdasarkan sifat fisik kualitas air didasarkan pada jumlah kandungan TSS pada dasarnya partikel-partikel yang terdapat di dalam air akan menyebabkan air menjadi keruh sehingga perlunya penanganan dalam menangani kekeruhan air yang terjadi (Sarwono dkk.,2017).

2.4.1.4 Power Of Hydrogen (pH)

pH adalah suatu satuan ukur yang menguraikan derajat tingkat kadar keasaman atau kadar alkali dari suatu larutan. Unit pH diukur pada skala 0 sampai 14 . Istilah pH berasal dari “P” lambang matematika dari negative logaritma, dan “H” lambing kimia untuk unsur hidrogen. Definisi yang formal tentang pH adalah negative logaritma dari aktivitas ion Hidrogen (Pratama & Tjahjanto, 2021).

2.4.1.5 Kadmium (Cd)

Kadmium (Cd) adalah logam berat yang dapat ditemukan di dalam air di sekitar tempat pembuangan sampah (Moelyaningrum & Jember, 2021). Kadmium (Cd) merupakan logam berbahaya karena memiliki potensi yang tinggi untuk merugikan pembuluh darah pada makhluk hidup. Kadmium dapat mengakumulasi di dalam organ ginjal dan hati, khususnya terikat sebagai metalothionein (Khairi Mahfudz dkk., 2018).

2.4.1.6 N-Total

unsur N merupakan unsur hara penting yang termasuk dalam kategori unsur hara makro, yang dibutuhkan dalam jumlah besar. Nitrogen berperan dalam

meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman dan membantu dalam pembentukan protein. Nitrogen memiliki peran penting dalam pertumbuhan dan perkembangan semua jenis jaringan makhluk hidup (Khairi Mahfudz dkk., 2018).

2.5 Metode Pengolahan Lindi secara Biologi

2.5.1 *Moving Bed Bio-Film Reactor (MBBR)*

MBBR merupakan suatu metode pengolahan limbah dengan media bergerak. Hal ini didapatkan dengan pertumbuhan biofilm/biomass didalam media (biocarrier) kecil yang bergerakdi dalam reaktor (Thakur & Khedikar, 2015). Sistem Reaktor Biofilm Bergerak (MBBR) adalah suatu sistem pertumbuhan terikat yang menggunakan media plastik dengan luas permukaan yang sangat besar (300 m²/m³) dan media ini bergerak secara dinamis, memastikan kontak yang efektif antara air limbah dan bakteri. Karakteristik ini juga menyebabkan proses pengolahan menjadi lebih efisien, dan jumlah lumpur yang dihasilkan jauh lebih sedikit jika dibandingkan dengan sistem pengolahan air limbah aerobik lainnya seperti *activated sludge (AS)* dan *Integrated Fixed-Film Activated Sludge (IFAS)*. Definisi dan Prinsip MBBR merupakan proses pengolahan yang sederhana dan membutuhkan luas lahan yang lebih sedikit. Teknologi MBBR menggunakan beribu biofilm dari *polyethylene* sebagai media tumbuh mikroorganisme dalam suatu reaktor dengan aerasi terus-menerus. Proses MBBR mempertahankan volume besar biofilm dalam proses pengolahan air limbah biologis. Akibatnya, proses degradasi kontaminan *biodegradable* yang berkelanjutan dalam ukuran tangki yang sama berlangsung tanpa perlu melakukan pengembalian lumpur. Proses ini memberikan peningkatan perlindungan terhadap *toxic shock*, sementara secara otomatis menyesuaikan untuk memuat fluktuasi.

2.5.2 *Kelebihan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)*

Adapun kelebihan MBBR Menurut penelitian (Ningtias dkk., 2018) mengenai pengolahan limbah domestik dengan anoksik-aerobik *moving bed biofilm reactor* menyatakan bahwa kelebihan dari proses *moving bed biofilm reactor* pada pengolahan adalah:

- a. Unit media yang bersifat padat dan pada umumnya bersifat plastik dengan ukuran kecil.

- b. Kapasitas pengolahan meningkat dengan adanya *driving energy* dari dalam reaktor dan menggunakan efisiensi penggunaan *fine bubble*.
- c. Penyisihan padatan dalam air cukup baik.
- d. Karakteristik pengendapan dapat memperbaiki sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik (kualitas dan kuantitas) masing-masing jenis air limbah. Operasi pada konsentrasi biomassa tersuspensi yang lebih besar menghasilkan waktu tinggal lumpur biomassa lebih tahan lama. Hal ini disebabkan oleh biomassa yang tumbuh pada media dapat saja memiliki ketebalan yang berbeda-beda di setiap media sesuai dengan kondisi fisik pengoperasian reaktor. Waktu tinggal lumpur biomassa yang lebih lama akan menyebabkan nutrisi mikroorganisme yang digunakan untuk resirkulasi lumpur akan semakin banyak dan mencukupi.
- e. Tidak memerlukan pencucian ulang secara periodik.

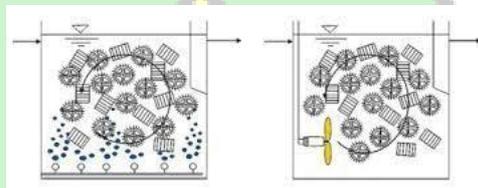
Keuntungan tambahan dari MBBR adalah kemampuannya untuk dioperasikan secara anaerobik, aerobik, atau kombinasi keduanya. Sistem ini dapat digunakan untuk menghilangkan COD, BOD, nitrogen, dan fosfor, memiliki waktu retensi yang singkat, biaya investasi minimal, tidak memerlukan daur ulang lumpur, konsumsi energi yang relatif rendah, perawatan yang mudah, biaya perawatan yang terjangkau, dan menghasilkan effluent dengan kualitas yang sangat baik (Supriyanto & Issa, 2017).

2.5.3 Cara Kerja *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)

Menurut penelitian sebelumnya (Metcalf & Eddy, 2017) menyatakan bahwa *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dioperasikan dengan sistem *batch* sehingga tahapan yang terjadi didalam reaktor meliputi tahapan pengisian, tahapan aerasi, dan tahapan pengendapan yang terjadi pada reaktor yang sama. Reaktor dengan sistem *batch* ini memiliki tahapan sebagai berikut:

- a. *Fill* (pengisian) Selama pengisian, volume dan air limbah ditambahkan ke dalam reaktor secara bersamaan. Tipikal proses pengisian mengikuti level air dengan banyak media sebesar 20% dari banyak air limbah.
- b. *React* (pemberian reaksi) Selama tahapan pemberian reaksi media akan bergerak secara terus menerus dalam reaktor tanpa berhenti. Untuk melakukan penyisihan amonia yang dibantu dengan pertumbuhan mikroorganisme.

- c. *Settle* (pengendapan) Padatan dibiarkan untuk berpisah dengan zat cairnya dalam kondisi yang tenang sehingga padatan yang berada dalam air limbah dapat dikeluarkan.
- d. *Decant* (penuangan) Efluen yang jernih akan dikeluarkan selama proses penuangan. Banyak mekanisme penuangan yang dapat dilakukan yaitu dengan cara penampungan dan limpahan.
- e. *Idle* (didiamkan) Pada tahapan didiamkan digunakan sistem *multi tank* untuk menyediakan waktu untuk satu reaktor dalam menyelesaikan tugas dalam waktu yang telah ditentukan.



Gambar 2.4 *Moving bed biofilm reactor* (Said & Sya, 2019)

2.6 Biofilm

Biofilm adalah suatu istilah yang digunakan untuk menggambarkan satu lingkungan kelompok mikroorganisme yang melekat pada suatu media yang padat dalam lingkungan perairan. Proses pengolahan dengan menggunakan biofilm biasanya disebut dengan proses biologis biakan melekat. Pengolahan limbah dengan menggunakan biofilm adalah proses pengolahan air limbah dengan bantuan aktivitas mikroorganisme yang dibiakkan pada suatu media yang akan melekat pada permukaan media dan membentuk biofilm. Lapisan biofilm yang terdiri dari konservatorium mikroorganisme yang terdiri dari bakteri, alga, jamur, protozoa, dan lumut itulah yang akan melakukan penguraian pada polutan yang berada di air limbah (Aniriani dkk., 2022).

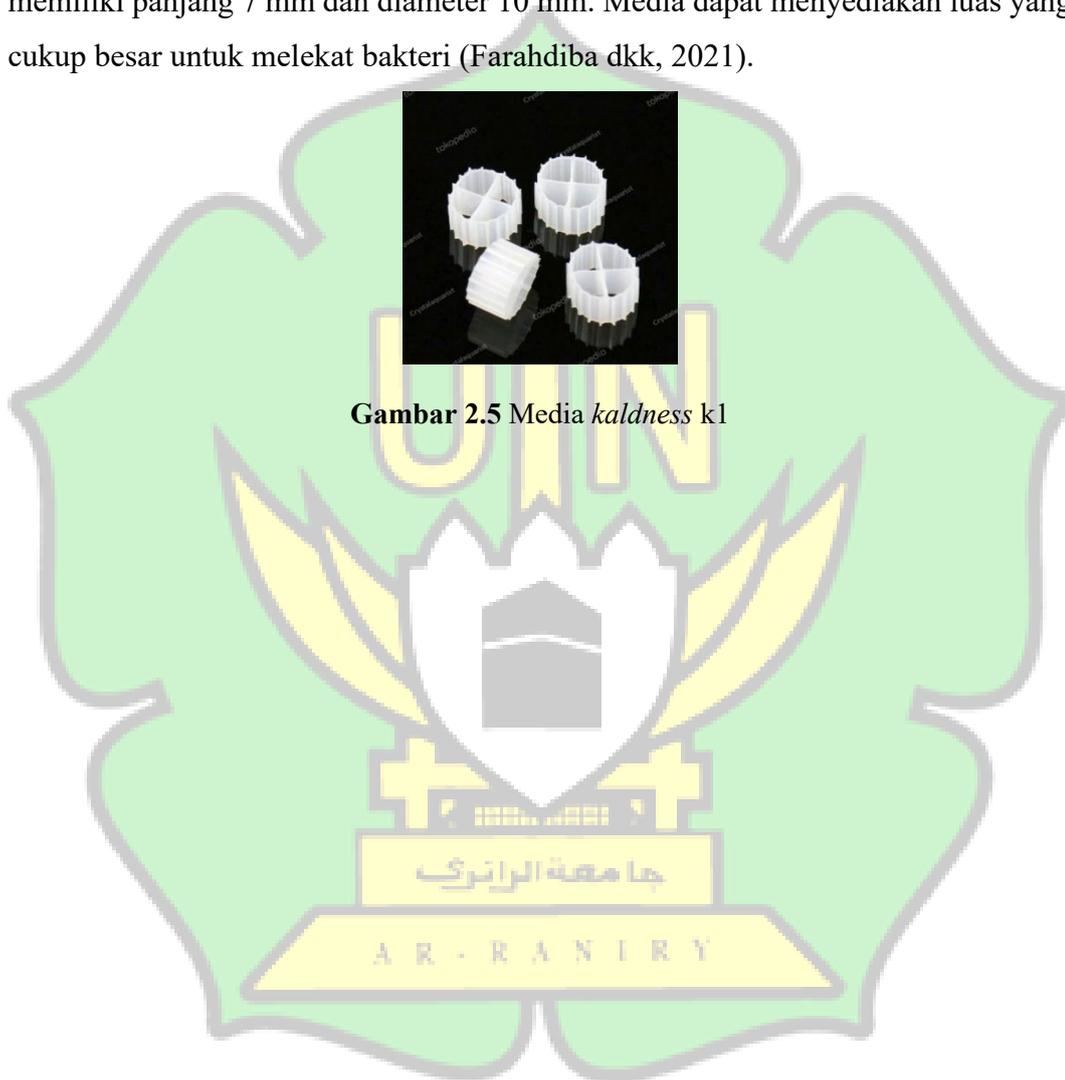
2.7 Media Kaldness

Media *Kaldness* merupakan media yang digunakan pada metode *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) yang disediakan untuk hidup koloni mikroorganisme yang akan menjadi biofilm. Media *Kaldness* dapat menyediakan luas permukaan yang cukup besar untuk melekatnya bakteri dan perbandingan volume media yang

sangat kecil dibandingkan dengan volume air reaktor. Hal ini akan menyebabkan pergerakan antar media yang terkena aerasi sehingga masing masing media akan berada pada kondisi bergerak dan meningkatkan efektivitas penumbuhan mikroorganismenya. Salah satu media yang sering digunakan yaitu *Kaldness 1* (K1) yang dibuat dari bahan *high density polyethylen* dengan berat jenis 0,9 g/ml dan berbentuk silinder kecil, menyilang dan menyerupai sirip diluarnya. Silinder memiliki panjang 7 mm dan diameter 10 mm. Media dapat menyediakan luas yang cukup besar untuk melekat bakteri (Farahdiba dkk, 2021).



Gambar 2.5 Media *kaldness k1*



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Umum Penelitian

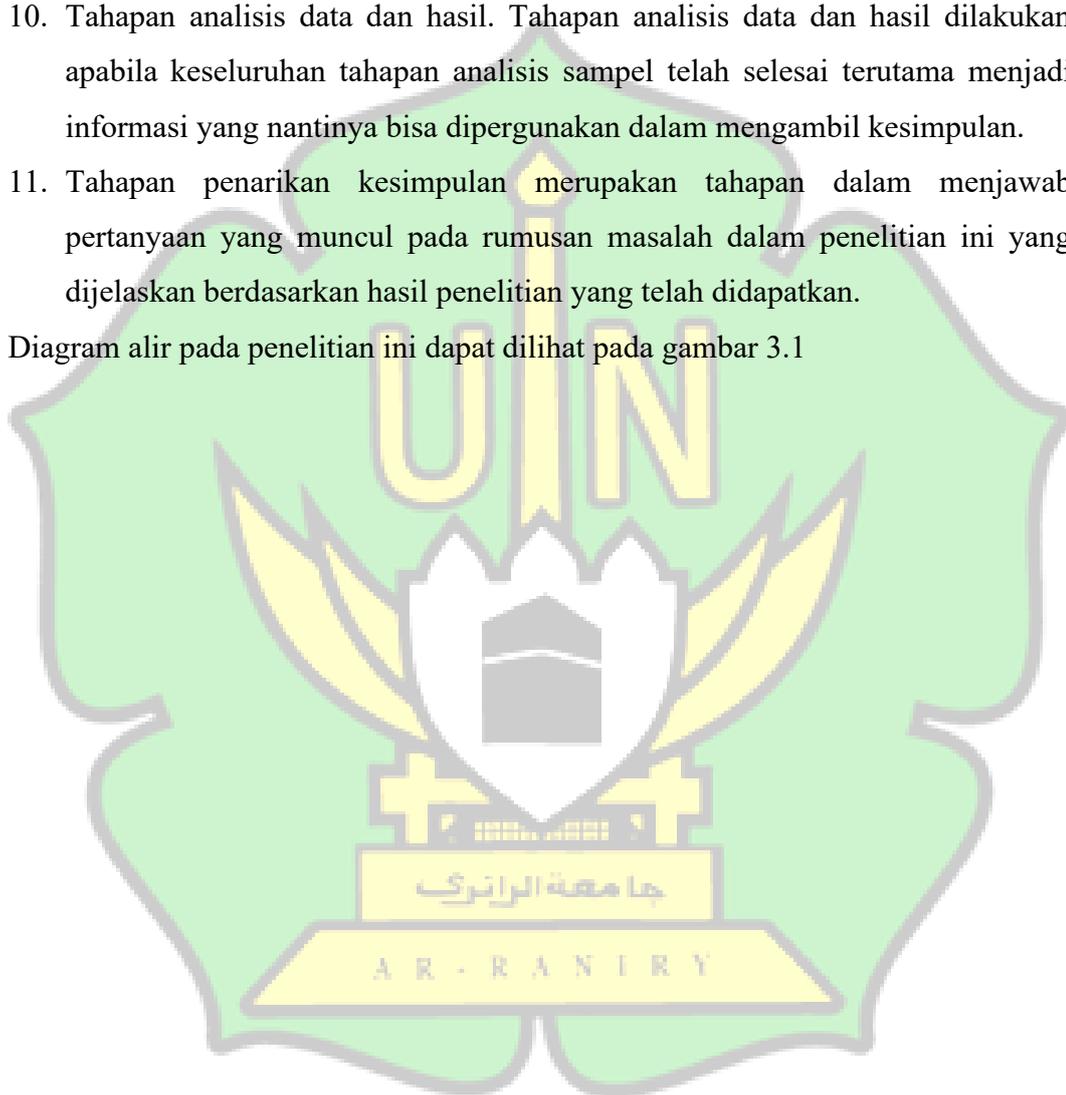
Adapun penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

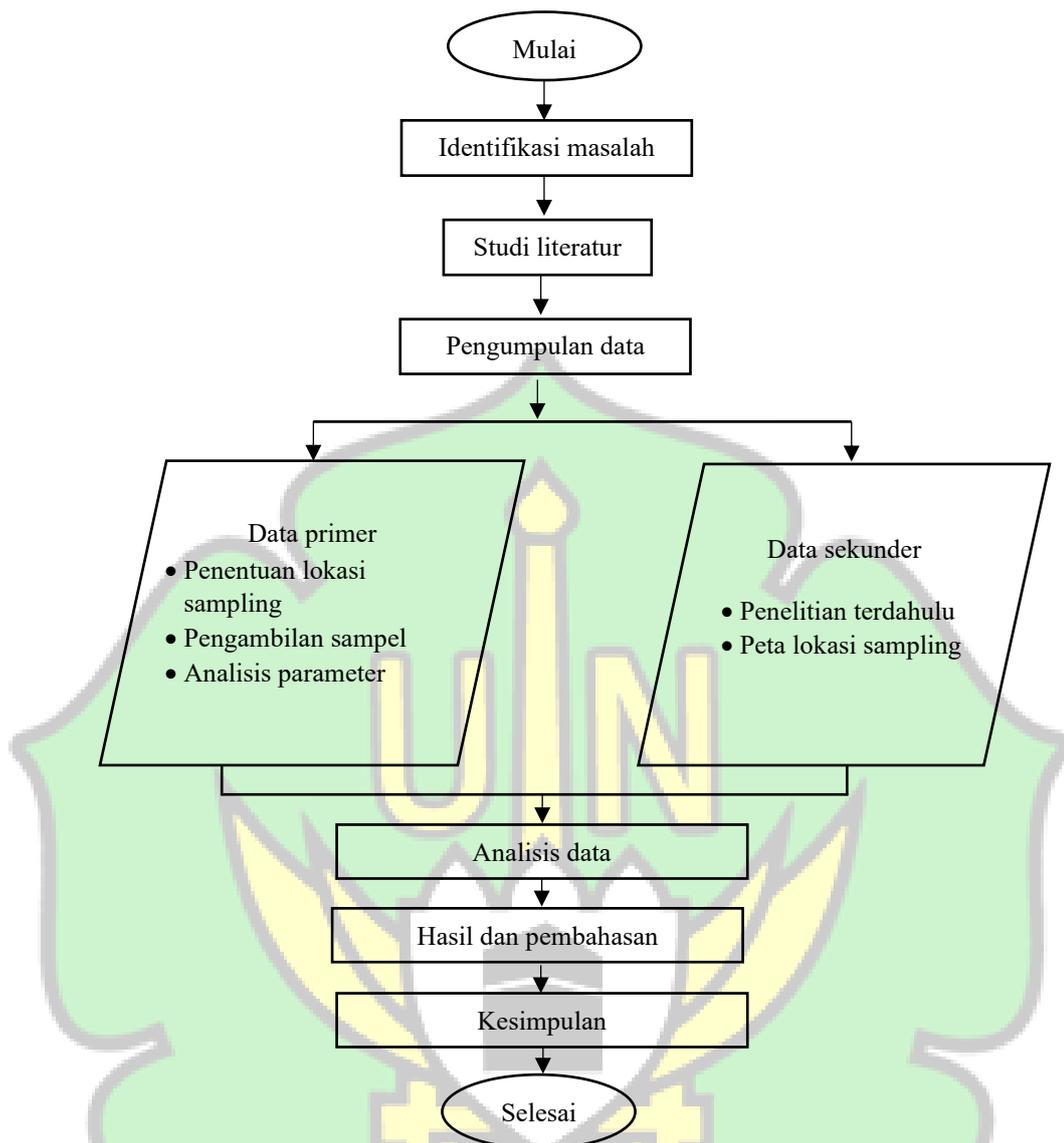
1. Identifikasi masalah. Tahap identifikasi masalah merupakan langkah pertama mengenali masalah terkait lindi berdasarkan informasi yang diperoleh di lapangan.
2. Studi literatur, dengan dilakukannya studi dalam mengetahui informasi pengumpulan data terkait dengan penelitian baik dari jurnal, buku maupun tugas akhir.
3. pengumpulan data. Tahap mengumpulkan data menggunakan metode data primer dan data sekunder.
4. Tahapan persiapan, pada tahap ini dilakukan penyiapan alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian dengan tujuan agar waktu dan pekerjaan yang dilakukan bisa lebih efektif.
5. Persiapan pengambilan sampel. Pengambilan sampel dilakukan untuk melakukan analisa awal yaitu pengujian nilai COD, TSS serta pH yang terdapat dalam lindi tersebut.
6. Pembuatan prototipe reaktor *MBBR* dengan menggunakan pipa PVC bening berdiameter 10,16 cm (4 inchi), tinggi 66 cm dan menggunakan media *kaldness* 1. Tahapan ini berupa kegiatan desain rangkaian reaktor yang digunakan untuk eksperimen agar memudahkan dalam perangkaian alat dan bahan yang digunakan
7. Tahapan *seeding* pada media *kaldness* 1 pada penelitian ini dilakukan secara alami yaitu dengan cara menampung lindi kedalam bak penumbuhan bakteri yang telah diisi dengan media *kaldness* *K1* hingga berbentuk biofilm pada permukaan media *kaldness*. Pemberian glukosa dalam proses *seeding* untuk membantu memberikan nutrisi bagi mikroorganisme dalam menguraikan lindi (Imania dan Herimurti, 2018)
8. Tahapan eksperimen, adalah tahapan untuk mengetahui variabel yang terjadi selama proses metode *MBBR* dengan lindi menggunakan media *kaldness*,

dengan variasi media *kaldness* sebanyak 20% dan 35% dari total volume pengolahan lindi yaitu 5L. waktu tinggal 24, 48, dan 72 jam untuk menurunkan nilai parameter COD, TSS serta perubahan nilai pH yang terdapat dalam lindi.

9. Tahapan pengujian sampel , tahapan ini dilakukan untuk mengetahui nilai parameter setelah dilakukan percobaan dengan metode MBBR, yang bertujuan untuk mengetahui efektivitas metode MBBR dalam penurunan parameter lindi.
10. Tahapan analisis data dan hasil. Tahapan analisis data dan hasil dilakukan apabila keseluruhan tahapan analisis sampel telah selesai terutama menjadi informasi yang nantinya bisa dipergunakan dalam mengambil kesimpulan.
11. Tahapan penarikan kesimpulan merupakan tahapan dalam menjawab pertanyaan yang muncul pada rumusan masalah dalam penelitian ini yang dijelaskan berdasarkan hasil penelitian yang telah didapatkan.

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1



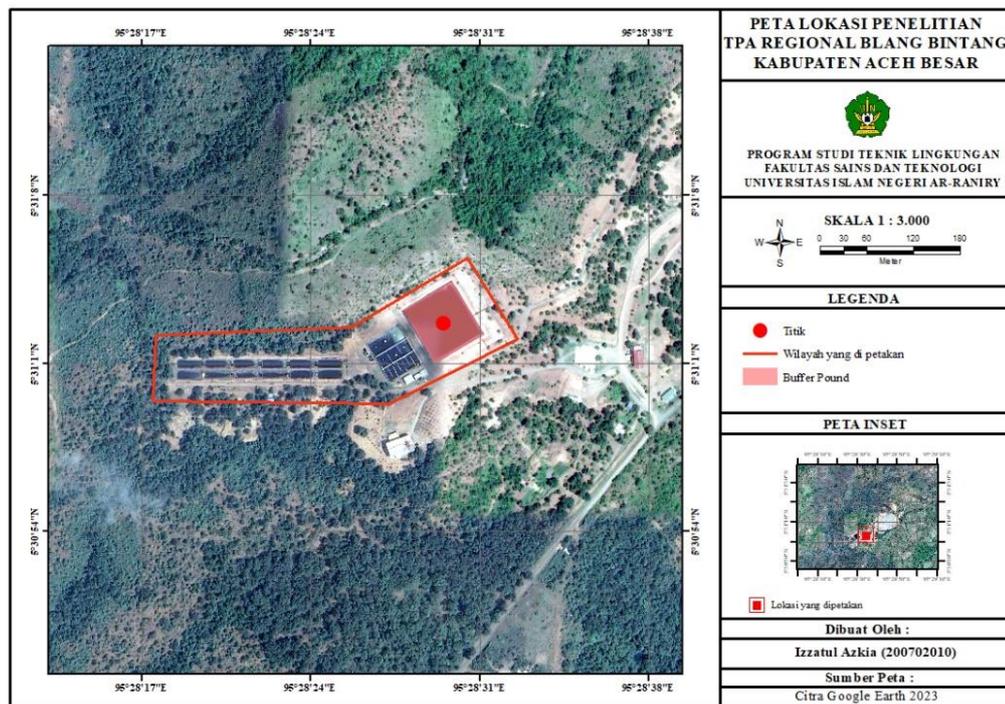


Gambar 3. 2 Diagram Alir penelitian

3.2 Pengambilan Sampel

3.2.1 Lokasi Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel lindi berlokasi di *Leachate Treatment Plant (LTP)* TPA Regional Blang Bintang tepatnya pada kolam penampung (*buffer pond*). Peta lokasi dapat dilihat pada gambar 3.2. Lokasi pemeriksaan parameter lindi dilakukan di Laboratorium Multifungsi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.



Gambar 3. 3 Peta Lokasi Pengambilan Sampel

3.2.2 Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel lindi dilakukan dengan teknik *grab sampling* atau sesaat, sampel diambil pada kolam penampung (*buffer pond*). Merujuk pada SNI 6989.59:2008 dengan tahapan pengambilan sampel sebagai berikut:

1. Sampel lindi diambil langsung dari LTP TPA Regional Blang Bintang yaitu pada kolam penampung (*buffer pond*), di Desa Perumping, Kecamatan Montasik Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh
2. Sampel diambil pada jam 10:00 WIB menggunakan gayung bertali dan dimasukkan kedalam wadah atau jerigen dengan ukuran 15 Liter.
 - a. Tidak terbuat dari bahan yang mempengaruhi sifat.
 - b. Dapat dicuci dari bekas sebelumnya dengan mudah.
- c. Mudah dan nyaman untuk dibawa.
- d. Mudah dipisahkan kedalam botol penampung tanpa ada bahan sisa tersuspensi didalamnya.
- e. Kapasitas tergantung dari tujuan penelitian.

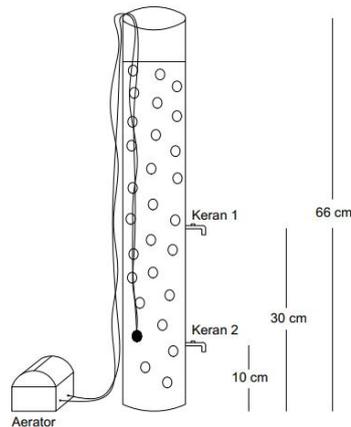


Gambar 3. 4 Pengambilan sampel di kolam penampung (*buffer pond*)

3.3 Eksperimen

3.3.1 Desain Reaktor

Penelitian ini dilakukan dalam skala kecil. Reaktor *Moving Bed Biofilm* terbuat dari pipa PVC berdiameter 10,16 cm (4 inchi) dengan tinggi 66 cm. Volume pengolahan pada reaktor MBBR ini 5 Liter. Media yang digunakan adalah media *Kaldness 1* (K1) yang dibuat dari bahan *High Density Polyethylene* (HDPE) dengan berat jenis 0,9 g/ml. Reaktor akan mempunyai 1 kran yang berfungsi sebagai pengambil sampel limbah dan pengurasan. Kran yang berada 10 cm. Reaktor dilengkapi dengan aerator sebagai pompa untuk memberikan suplai oksigen dan menjaga media agar selalu bergerak didalam reaktor. Setiap reaktor akan diisi dengan media yang berbeda sebesar 20%, dan 35% dari total volume pengolahan. Desain reaktor MBBR merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh (Imania & Herumurti, 2018) tetapi dalam skala volume yang berbeda.



Gambar 3. 5 Desain *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR)

3.3.2 Alat Dan Bahan Eksperimen

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini, ditunjukkan pada tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Alat dan bahan yang digunakan dalam eksperimen

No	Alat Dan Bahan	Spesifikasi	Jumlah	Keterangan
1	lindi	-	15 liter	Sampel yang akan diteliti
3	Pipa pvc	Diameter 10,46 cm dan tinggi 110 cm	2 buah	Bak reaktor eksperimen
4	Media kaldness	bahan <i>High Density Polyethylene</i> (HDPE) dengan berat jenis 0,9 g/ml	1 kg	Media yang digunakan untuk penumbuhan mikroorganisme
5	Aerator aquarium	-	2 buah	Penyuplai oksigen pada bak reaktor
6	Keran	-	2 buah	Mengeluarkan sampel dari bak kaca
7	Jerigen	-	1 buah	Menampung sampel limbah
8	Gayung	-	1 buah	Mengambil sampel limbah
9	Kertas saring whatman	42 mm	3lembar	Pengujian TSS
10	Aquadest	-	2 liter	Untuk membersihkan alat-alat laboratorium
11	Glukosa/molase			Untuk aklimatisasi mikroorganisme

3.3.3 Proses Pemiakan Mikroorganisme (*Seeding*)

Proses *seeding* berperan dalam memperoleh biomassa mikroorganisme pengurai limbah lindi. Dalam proses ini, media *Kaldness* 1 dimasukkan kedalam reaktor dan direndam dalam lindi selama lebih kurang 7 hari hingga terbentuk lapisan biofilm pada permukaan media *Kaldness*. Pemberian glukosa dalam proses *seeding* untuk membantu memberikan nutrisi bagi mikroorganisme dalam menguraikan lindi (Imania dan Herimurti, 2018). Proses *seeding* ini berlangsung dengan pemberian oksigen secara terus menerus dengan pengaplikasian aerator agar proses oksidasi biologi oleh mikroba berjalan dengan baik (Nainggolan dkk., 2017).



Gambar 3.6 Media *kaldness* (a) sebelum *seeding* (b) setelah *seeding*

3.3.4 Proses Pengaplikasian MBBR

Setelah proses *seeding* pada media *kaldness* 1 dilakukan, maka media *kaldness* 1 yang sudah dilapisi dengan biofilm akan diisi ke dalam reaktor sebanyak 20% dan 35% dari volume pengolahan lindi (5 liter). Pengoperasian reaktor ini akan diaplikasikan aerator untuk pemberian oksigen secara terus menerus agar proses pembiakan mikroba berjalan dengan efektif dan efisien. Kemudian reaktor akan diberi waktu tinggal selama 24 jam, 48 jam, 72 jam (Imania & Herumurti, 2018), dan akan dilakukan pengujian beberapa parameter lindi.

3.4 Variasi Penelitian

Adapun variasi eksperimen terdiri dari variabel terikat dan variabel bebas, yang diuraikan sebagai berikut:

1. Variabel Terikat, Variabel terikat merupakan beberapa faktor yang diamati serta diukur untuk menentukan pengaruh variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian ini terdiri dari lindi, nilai pH, TSS, dan COD

2. Variabel Bebas, Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi perubahan untuk menentukan antara fenomena yang diamati. Variasi waktu tinggal yaitu, 24 jam, 48 jam, 72 jam dan variasi volume media *kaldness* pada bak pertama 20% dan 35% pada bak kedua.

Tabel 3. 2 Variasi penelitian

Volume Lindi	Waktu tinggal	Volume media <i>kaldness</i> (%) dari total volume lindi	
		Reaktor 1	Reaktor 2
5 Liter	24 jam	20%	35%
	48 jam		
	72 jam		

3.5 Pengukuran Parameter Lindi

Adapun pengukuran parameter yang digunakan dalam penelitian ini, ditunjukkan pada tabel 3.3 Sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Pengukuran parameter air lindi

No	Parameter	Metode Uji	Acuan
1	COD	Bichromat	SNI 6989.2:2019
2	TSS	Gravimetri	SNI 6989.3:2009
3	pH	pH meter	SNI 6989.11:2009

Untuk prosedur pengecekan parameter dapat dilihat di lampiran 4

3.6 Analisis Data

Tahap analisis data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui presentase penurunan beban pencemar pada lindi dari masing-masing parameter yang telah di uji pada saat dan sesudah dilakukannya pengolahan dengan menggunakan metode MBBR.

$$efektifitas (\%) = \frac{x-y}{x} \times 100 \% \quad (3.1)$$

Dengan X adalah kadar sebelum pengolahan air lindi dan Y adalah kadar setelah pengolahan air lindi menggunakan metode MBBR.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kemampuan Metode MBBR Dalam Menurunkan Parameter Lindi TPA

Berdasarkan hasil uji kualitas awal lindi pada *buffer pond* diketahui bahwa lindi pada LTP TPA Regional Blang Bintang belum memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 59 Tahun 2016 sehingga belum layak di alirkan ke lingkungan, hal ini dapat dilihat pada tabel 4.1, dengan demikian lindi membutuhkan pengolahan lebih lanjut sebelum dibuang ke lingkungan atau badan air.

Tabel 4. 1 Hasil Analisis awal parameter pH, TSS, COD dan Cd

No	Parameter	Nilai Awal	Baku Mutu	Keterangan
1	pH	9,3	6-9	Tidak memenuhi baku mutu
2	TSS (mg/L)	849	100	Tidak memenuhi baku mutu
3	COD (mg/L)	9.407	300	Tidak memenuhi baku mutu
4	Cd (mg/L)	0,1	0,027	Memenuhi baku mutu

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa nilai beberapa parameter pada sampel awal lindi yang digunakan belum memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan, tingginya nilai pH, TSS dan COD pada lindi tersebut dikarenakan belum terjadinya proses pengolahan. Kadar pH yang tinggi pada lindi menandakan bahwa lindi tersebut basa, karena melebihi angka 9, nilai parameter TSS yang tinggi menunjukkan bahwa tingginya jumlah padatan terlarut sehingga meningkatkan kekeruhan, dan tingginya nilai parameter COD menandakan bahwa banyaknya kandungan zat organik pada lindi, dan karena parameter kadmium sudah memenuhi baku mutu maka tidak di lanjutkan lagi kedalam tahap pengujian.

Metode *moving bed biofilm reactor* (MBBR) merupakan salah satu metode pengolahan limbah yang memanfaatkan bakteri untuk mengurai parameter pencemar pada limbah cair (Thakur & Khedikar, 2015). Pada penelitian ini penerapan metode MBBR pada pengolahan lindi sudah mampu menurunkan beberapa parameter pH, TSS dan COD, nilai parameter tersebut mengalami

degradasi namun belum memenuhi ambang baku mutu yang telah ditetapkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2016. Efektivitas penyisihan beberapa parameter lindi tersebut dapat dilihat pada tabel 4,2.

Tabel 4. 2 Hasil analisis parameter setelah pengolahan dengan metode MBBR

Waktu tinggal (jam)	Variasi media <i>kaldness</i>	Parameter pH		Baku mutu	keterangan	
		Nilai awal	Hasil setelah pengolahan			
24	R1 (20%)	9,3	8,8	6-9	Memenuhi baku mutu	
	R2 (35%)		8,6			
48	R1 (20%)		8,7			
	R2 (35%)		8,3			
72	R1 (20%)		8,6			
	R2 (35%)		8,2			
Waktu tinggal (jam)	Variasi media <i>kaldness</i>	Parameter COD (mg/L)			Baku mutu	Keterangan
		Nilai awal	Hasil setelah pengolahan	Efektivitas penyisihan (%)		
24	R1 (20%)	9,407	8459	10,08	300 mg/L	Belum memenuhi baku mutu
	R2 (35%)		8421	10,48		
48	R1 (20%)		7597	19,24		
	R2 (35%)		7530	19,95		
72	R1 (20%)		6864	27,03		
	R2 (35%)		6847	*27,21		
Waktu tinggal (jam)	Variasi media <i>kaldness</i>	Parameter TSS (mg/L)			Baku mutu	Keterangan
		Nilai awal	Hasil setelah pengolahan	Efektivitas penyisihan (%)		
24	R1 (20%)	849	621	26,85	100 mg/L	Belum memenuhi baku mutu
	R2 (35%)		582	31,44		
48	R1 (20%)		598	29,56		
	R2 (35%)		564	33,56		
72	R1 (20%)		575	32,27		
	R2 (35%)		557	*34,39		

*Menunjukkan persentase penyisihan tertinggi

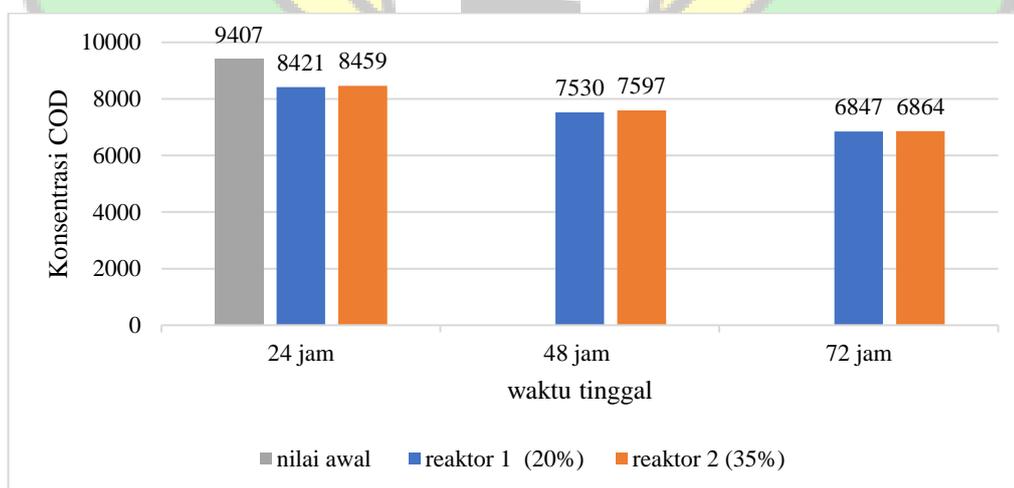
Berdasarkan tabel 4.2 dapat dilihat bahwa nilai TSS mengalami penurunan di hari ke tiga pada reaktor 1 (32,27%) dan reaktor kedua (34,39%), perhitungan efektivitas teraebut dapat dilihat pada lampiran 2. Parameter COD juga mengalami di hari ke tiga pada reaktor 1 dan reaktor kedua. Pada hasil pengukuran pH pada hari ke tiga yaitu di angka 8,6 dan 8,2. Penerapan metode MBBR sudah cukup baik dalam menurunkan beberapa nilai dari parameter lindi yang di uji, hanya saja belum

memenuhi ambang baku mutu. Hal ini disebabkan karena tinggi nya nilai senyawa organik pada lindi sehingga dibutuhkan waktu yang lebih lama dalam proses pengolahan tersebut. Efisiensi penyisihan senyawa organik akan meningkat seiring dengan peningkatan waktu tinggal, karena waktu kontak yang lebih lama antara biomassa dan substrat dalam reaktor (Aimia dkk., 2023).

4.2 Efektivitas Metode MBBR Dalam Penurunan Parameter Lindi

4.2.1 Efektivitas Metode MBBR Dalam Penurunan Parameter COD

Chemical oxygen demand (COD) adalah banyaknya oksigen yang yang dikonsumsi mikroorganisme selama oksidasi bahan organik yang dapat teroksidasi dengan bantuan zat pengoksidasi (Sara dkk., 2018). Nilai hasil pengukuran COD menentukan jumlah bahan organik yang ditemukan dalam air. Pada penelitian ini pengujian parameter COD dilakukan dengan menggunakan metode titrimetri yang terdapat pada SNI 6989.2:2019. Nilai COD mengalami penurunan hingga 27,21%. Hal ini dikarenakan banyaknya penambahan media kaldness yang ditutupi oleh biofilm sehingga joloni bakteri mampu mengurai senyawa organik yang terdapat pada lindi. Hasil analisis parameter COD pada lindi yang sudah mengalami proses pengolahandengan metode MBBR dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik hasil uji parameter COD setelah pengolahan dengan metode MBBR

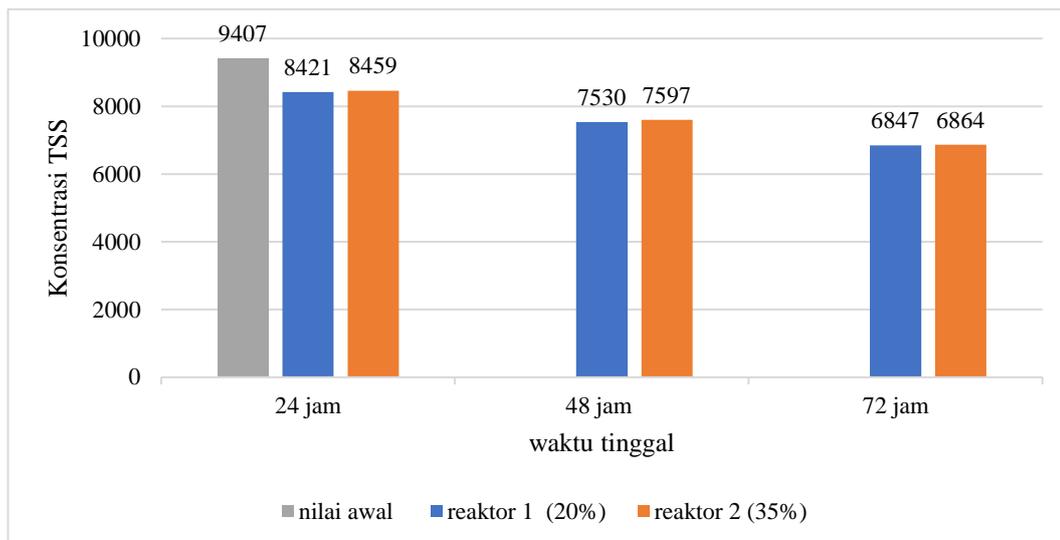
Berdasarkan Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa penurunan kadar COD yang paling tinggi terdapat pada hari ketiga sebesar 6.847 g/L (27,21 %). Metode MBRR mempengaruhi percepatan degradasi nilai parameter COD pada lindi, hal ini dapat dilihat dari menurunnya konsentrasi COD sejak hari pertama dilakukan pengolahan

dengan metode MBBR. Pada penelitian ini faktor yang dapat mempengaruhi penyisihan nilai parameter COD adalah waktu tinggal dan jumlah media *kaldness* didalam reaktor. Penambahan media *Kaldness* pada reaktor dengan jumlah yang banyak akan meningkatkan jumlah rongga yang tersedia untuk pertumbuhan koloni bakteri dalam membentuk biofilm pada media *kaldness*. Menurut Al Kholif dan Febrianti (2019) meningkatnya jumlah mikroorganisme menyebabkan senyawa organik pada lindi mengalami penurunan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Al Kholif dan Febrianti (2019), pengolahan lindi dengan metode MBBR menunjukkan terjadinya penurunan parameter COD yang sangat signifikan. Sebelum perlakuan nilai kadar COD sebesar 3512 mg/L dan setelah proses perlakuan didapatkan nilai kadar COD menunjukkan 1169 mg/L. Besarnya nilai efisiensi penurunan COD ini dikarenakan bakteri tersuspensi dalam lindi langsung mendapatkan makanan dari senyawa organik yang ada dalam lindi. Bakteri memperoleh energi serta tumbuh dan berkembang biak setelah melakukan proses degradasi lindi sehingga dapat menurunkan senyawa organik.

4.2.2 Efektivitas Metode MBBR Dalam Penurunan Parameter TSS

TSS merupakan padatan yang tidak terlarut sehingga menyebabkan terjadinya kekeruhan air (Sarwono dkk., 2017). Berdasarkan sifat fisik kualitas air didasarkan pada jumlah kandungan TSS pada dasarnya partikel-partikel yang terdapat di dalam air akan menyebabkan air menjadi keruh sehingga perlunya penanganan dalam menangani kekeruhan air yang terjadi. Pada penelitian ini TSS mengalami penurunan hingga 34,39%. Hasil analisis parameter TSS pada lindi yang sudah mengalami proses pengolahan dengan metode MBBR dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Grafik hasil uji parameter TSS setelah pengolahan dengan metode MBBR

Berdasarkan gambar 4.2 menunjukkan bahwa hasil penelitian dengan metode MBBR dengan variasi media *kaldness* dan waktu tinggal mempengaruhi penurunan nilai TSS. Menurut Dickdoyo dan Cahyonugroho (2021), penyisihan persentase nilai TSS ini terjadi karena adanya penambahan waktu tinggal dan banyaknya variasi media biofilm yang digunakan. kedua variasi tersebut berpengaruh pada aktivitas biologis bakteri yang tumbuh pada permukaan media yang luas. Sebelum dilakukan pengolahan dengan metode MBBR, lindi memiliki nilai konsentrasi TSS sebesar 809 mg/L, setelah pengolahan parameter TSS mengalami degradasi sebesar 34,39%. Hal ini menunjukkan penggunaan media *kaldness* dengan jumlah 35 % dari total volume pengolahan mengalami efektivitas penyisihan yang lebih besar. Penurunan nilai TSS pada pengolahan dengan metode MBBR juga dipengaruhi oleh aerasi oksigen yang masuk pada lindi. Aerasi mampu menghancurkan endapan yang menggumpal sehingga dapat mempermudah penyerapan oksigen oleh bakteri aerob yang berfungsi sebagai pengurai. Semakin banyak bakteri pengurai, semakin tinggi penurunan nilai TSS.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Aimia dan Jar (2023), pengolahan lindi dengan metode MBBR dan variasi waktu hingga 45 jam. TSS mengalami degradasi hingga 50% dari nilai awal. Menurut Aimia dkk (2023) penyisihan nilai TSS ini terjadi karena besarnya penggunaan volume media, sehingga semakin luas rongga media untuk pertumbuhan mikroorganisme. Dampak waktu tinggal juga terlihat

dalam penurunan TSS, dimana penurunan paling efektif terjadi pada waktu tinggal 45 jam. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri memiliki efisiensi degradasi yang lebih baik saat waktu tinggal diperpanjang. Konsentrasi TSS secara bertahap berkurang seiring peningkatan waktu tinggal, karena partikel memiliki lebih banyak waktu untuk mengendap dan menempel pada permukaan media.

Nilai TSS juga berpengaruh terhadap kekeruhan, dimana proses degradasi mempengaruhi tampilan fisik dari warna lindi. Perubahan tampilan fisik tersebut dapat dilihat pada gambar 4.3.



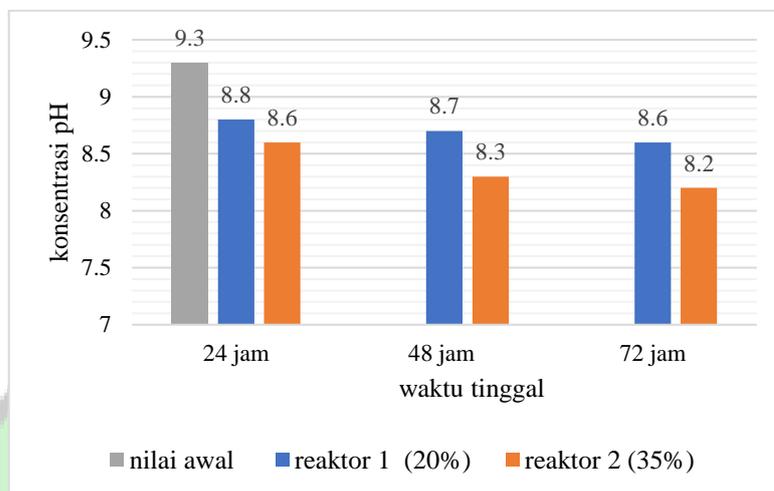
Gambar 4. 3 (a) Lindi sebelum di olah (b) lindi setelah mengalami proses MBBR dan waktu tinggal 48 jam

4.2.3 Pengujian Parameter Ph Menggunakan Metode MBBR

pH adalah suatu satuan ukur yang menguraikan derajat tingkat kadar keasaman atau kadar alkali dari suatu larutan. Unit pH diukur pada skala 0 sampai 14 . Istilah pH berasal dari “P” lambang matematika dari negative logaritma, dan “H” lambing kimia untuk unsur hidrogen. Definisi yang formal tentang pH adalah negative logaritma dari aktivitas ion Hidrogen (Pratama & Tjahjanto, 2021).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, pengujian parameter pH dilakukan pada kedua variasi reaktor selama tiga hari, nilai pH pada masing masing reaktor dapat dilihat pada gambar 4.4, pada pengujian awal nilai pH pada lindi yaitu 9,3, nilai ini sudah melebihi ambang baku mutu yang sudah ditetapkan, sehingga nilai pH pada lindi tersebut belum dalam ambang batas aman jika di alirkan ke lingkungan. Setelah lindi mengalami pengolahan dengan metode MBBR, nilai pH mengalami penurunan namun tidak signifikan. Pada penelitian ini variasi media kaldness yang digunakan tidak mempengaruhi penurunan nilai pH , karena pada setiap reaktor menggunakan aerator yang meningkatkan kadar oksigen terlarut pada

limbah dan meningkatkan metabolisme pada bakteri aerob. Penurunan nilai parameter pH pada penelitian diduga karena bakteri yang berperan mampu menetralkan pH pada limbah.



Gambar 4. 4 Grafik hasil uji parameter pH setelah pengolahan dengan metode MBBR

Menurut Kusuma Dkk (2019), nilai pH di dalam reaktor dapat mengalami penurunan jika terjadi proses pembentukan nitrat oleh bakteri *nitrobacter*. Reaksi tersebut menunjukkan bahwa setiap mol ammonium yang dioksidasi akan memproduksi 2 mol ion hidrogen, yang hasilnya akan menurunkan nilai pH pada lingkungan yang nilai buffernya rendah. Nilai ini menandakan mikroorganisme yang telah tumbuh dan membentuk biofilm mampu menurunkan pH limbah oleh aktivitas metabolisme mikroorganisme aerob.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Kemampuan metode MBBR dalam pengolahan lindi pada penelitian ini masih belum maksimal dalam mendegradasi beberapa parameter, hal ini dikarenakan persentase penyisihan masih cukup rendah.
2. Setelah mengalami proses pengolahan dengan metode MBBR TSS mencapai nilai efektivitas sebesar 34,39 %, COD sebesar 27,21%, dan pH pada nilai 8,2. Kombinasi antara waktu tinggal dan volume media *Kaldness* yang tepat akan meningkatkan efisiensi degradasi polutan pada lindi, sehingga kualitas lindi yang dihasilkan semakin membaik.

5.2 Saran

Adapun saran dan masukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan untuk menggunakan bakteri spesifik yang dapat mendegradasi parameter COD dan TSS pada lindi dengan maksimal.
2. Melakukan penelitian dengan menggunakan media tumbuh dengan permukaan yang lebih besar, sehingga diperoleh hasil optimum pada penyisihan parameter COD dan TSS.
3. Melakukan uji parameter BOD untuk melihat rasio perbandingan COD dan BOD.

DAFTAR PUSTAKA

- Aimia, T. A., & Jar, N. R. (2023). Penyisihan COD, TSS, dan TN pada Lindi TPA Klotok Menggunakan *Anoxic-Oxic Moving Bed Biofilm Reactor*. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 2(4), 771–779.
- Aniriani, G. W., Putri, M. S. A., & Nengseh, T. (2022). Efektivitas Penambahan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) Terhadap Kualitas Air Limbah di Instalasi Pengolahan Air Limbah Pondok Pesantren Mahasiswa Universitas Islam Lamongan. *Jurnal Ilmiah Sains*, 22(1), 67.
- Darnas, Y., Anas, A. A., & Hasibuan, M. A. A. (2020). Pengendalian Air Lindi Pada Proses Penutupan TPA Gampong Jawa Terhadap Kualitas Air Sumur. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(3), 1165–1176.
- Dickdoyo, A. T., & Cahyonugroho, O. H. (2021). Pengolahan Limbah Domestik Rumah Makan Dengan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). *Jurnal Envirotek*, 13(1), 33–36.
- Edhi Sarwono¹, Musfik Harits², B. N. W., & Jurusan. (2017). Penurunan Kadar Tss, Bod₅ Dan Total Coliform Menggunakan *Horizontal Roughing Filter*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(1), 18–26.
- Ekawandani, N., & Anzi Kusuma, A. (2018). Pengomposan Sampah Organik (Kubis Dan Kulit Pisang) Dengan Menggunakan EM4. *TEDC*, 12(1), 38–43.
- Fajariyah, C., & Mangkoedihardjo, S. (2017). Kajian Literatur Pengolahan Lindi. *Teknik ITS*, 6(2).
- Farahdiba, U. A., Purnomo, Y. S., Sakti, N. S., & M. F. K. (2021). Pengolahan Limbah Domestik Rumah Makan Dengan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). *Jurnal Envirotek*, 13(1), 33–36.
- Hartono, H., Pane, P. Y., Manalu, P., & Aprilliandy, R. (2019). Efektivitas Penambahan Biosulfa Dalam Menurunkan Kadar *Biological Oxygen Demand* (BOD) Pada Air Limbah Tahu. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Informasi (SENSASI)*, 2(1), 1–6.
- Imania, A. W., & Herumurti, W. (2018). Pengolahan Lindi Menggunakan *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan *Pre-treatment* Ozon untuk Menurunkan Konsentrasi COD. *Jurnal Teknik ITS*, 7(1), 203–206.
- Mahfudz, K. M., Utami, F. P., & Fitriyanto, D. S. (2018). Pemanfaatan Cangkang Telur *Gallus Sp.* Sebagai Adsorben Kadmium (Cd) Pada Limbah Cair Industri *Utilization of The Eggshell Gallus Sp. as A Cadmium Adsorbent (Cd) on Liquid Waste of Batik Industry*. 103–110.
- Laksono, D. M., & Rachmanto, A. T. (2022). Pengaruh Kadar Fenton untuk Menurunkan Parameter COD, TSS, TDS Sampel Lindi di TPA. *The National Environmental Science and Engineering Conference*. 3(1), 87-94.

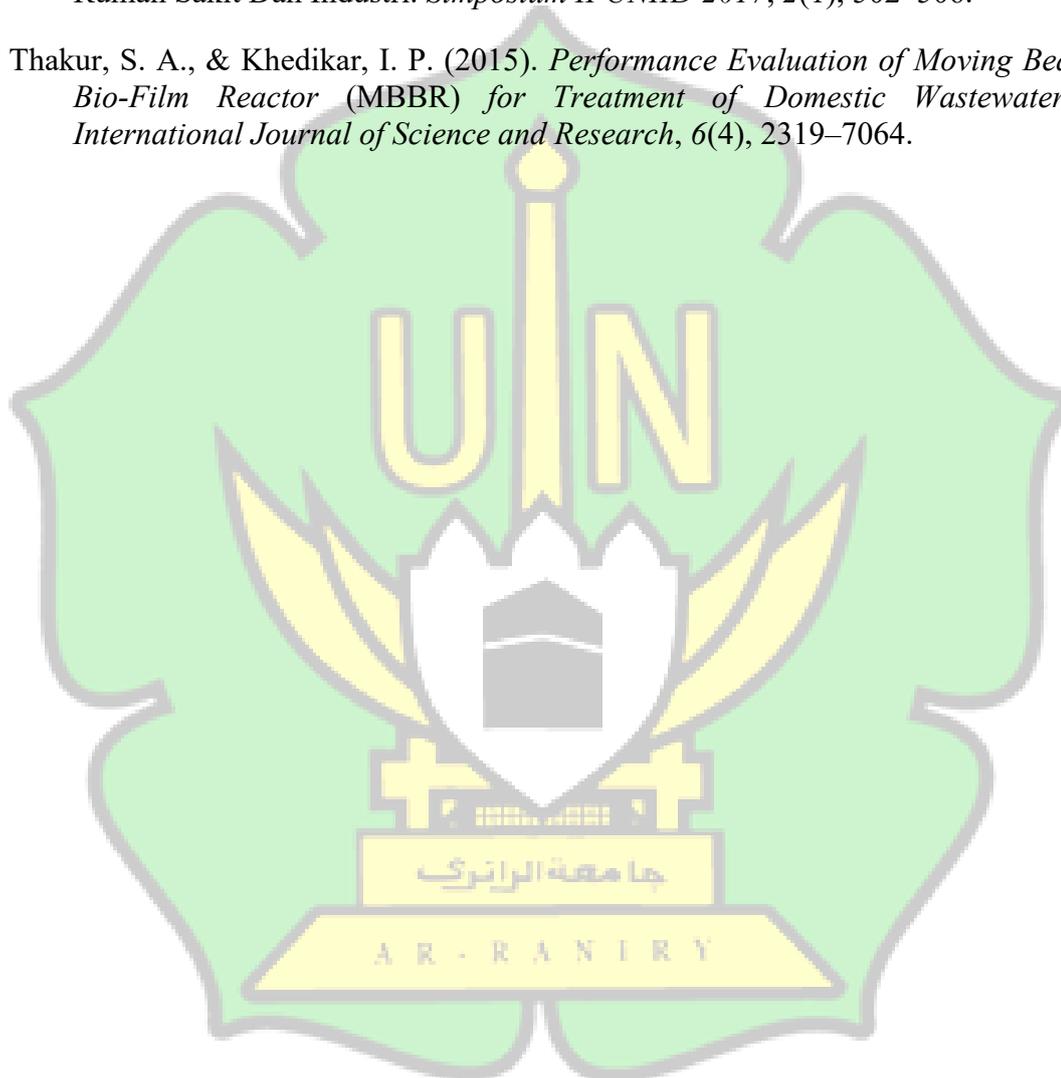
- Marendra, S. M. P. (2020). Strategi Pengelolaan Air Tanah Dangkal Di Sekitar TPA JABON Kabupaten Sidoarjo.
- Mawuntu, W., Riogilang, H., & Supit, j. C. (2023). Analisis Kapasitas Air Lindi Dan Rancangan Instalasi Pengolahan Lindi Pada TPA Kulo. *Analisis Kapasitas Air Lindi Dan Rancangan Instalasi Pengolahan Lindi Pada TPA Kulo*, Vol. 21 No(85), 1579–1588.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment*. McGraw-Hill. New York.
- Moelyaningrum, A. D. (2019). Pemanfaatan Arang Aktif Ampas Kopi Sebagai Adsorben Kadmium Pada Air Sumur (*The Usage of Coffee Waste Activated Charcoal as Adsorbent of Cadmium in Well Water*). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 7(1), 011.
- Muthmainnah, & Adris. (2020). Pengelolaan Sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) PATOMMO SIDRAP (Tinjauan Yuridis Peraturan Daerah No . 7 Tahun 2016 Tentang Pengelolaan Persampahan). *Jurnal Madani Regal View*, 4(1), 23–38.
- Nainggolan, T. A., Khotimah, S., & Turnip, M. (2015). Bakteri Pendegradasi Amonia Limbah Cair Karet Pontianak Kalimantan Barat. *jurnal Protobiont*, 4, 69–76.
- Ningtias, B. C., Moersidik, S. S., Priadi, C. R., & Said, N. I. (2018). Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Anoksik-Aerobik Moving Bed Biofilm Reactor (Studi Kasus: Penyisihan Amonia Dan Karbon Dalam Air Limbah Domestik). *Jurnal Air Indonesia*, 8(2), 177–188.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah, Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan (2016).
- Pratama, F. N., & Tjahjanto, T. (2021). Sistem Pemantauan Derajat Keasaman Limbah Air Pada Areal Tambang Berbasis Nirkabel Menggunakan Protokol Lora (Studi Kasus : PT. Wanatiara Persada). *Informatics and Digital Expert (INDEX)*, 3(1), 1–5.
- Ramadhani, J., & Asrifah, R. R. D. (2020). Pengolahan Air Lindi Menggunakan Metode *Constructed Wetland* di TPA Sampah Tanjungrejo, Desa Tanjungrejo, Kecamatan Jekulo, Kabupaten Kudus. *Jurnal Ilmiah Lingkungan* 1, 1–8.
- Sara, P. S., Astono, W., & Hendrawan, D. I. (2018). Kajian kualitas air di Sungai Ciliwung dengan parameter BOD dan COD. *Seminar Nasional Cendekiawan ke 4*, 4, 591–597.
- Sarwono, E., Harits, M., & Widarti, N. B. (2017). Penurunan Kadar TSS, BOD Dan Total *Coliform* Menggunakan *Horizontal Roughing Filter*. *Jurnal Teknik*

Lingkungan, 1(1), 18–26.

Setyaningrum, D., Anisa, Z., & Rasydta, H. (2022). Pengujian Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada Air Limbah Tinggi Kalsium Klorida Menggunakan Metode Refluks Terbuka. *Formosa Journal of Science and Technology*, 1(4), 353–362.

Supriyanto, G., & Issa, T. R. (2017). Inovasi Dan Pengembangan Teknologi *Moving Bed Bioreactor* (MBBR) Untuk Pengolahan Limbah Cair Domestik, Rumah Sakit Dan Industri. *Simposium II UNIID 2017*, 2(1), 502–506.

Thakur, S. A., & Khedikar, I. P. (2015). *Performance Evaluation of Moving Bed Bio-Film Reactor* (MBBR) for Treatment of Domestic Wastewater. *International Journal of Science and Research*, 6(4), 2319–7064.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan parameter TSS Lindi

Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai TSS

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

1.1 sampel lindi sebelum menggunakan metode MBBR

$$\begin{aligned} \text{TSS mg/L} &= \frac{(0,2323-0,1474) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 849 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

1.2 Sampel lindi setelah menggunakan metode MBBR dengan waktu tinggal 24 jam

a. Reaktor 1 (20% media *kaldness*)

$$\begin{aligned} \text{TSS mg/L} &= \frac{(2,095-0,1474) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 621 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

b. Reaktor 2 (35% media *kaldness*)

$$\begin{aligned} \text{TSS mg/L} &= \frac{(2,056-0,1474) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 582 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

1.3 Sampel lindi setelah menggunakan metode MBBR dengan waktu tinggal 48 jam

a. Reaktor 1 (20% media *kaldness*)

$$\begin{aligned} \text{TSS mg/L} &= \frac{(2,072-0,1474) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 598 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

b. Reaktor 2 (35% media *kaldness*)

$$\begin{aligned} \text{TSS mg/L} &= \frac{(2,038-0,1474) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 564 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

1.4 Sampel lindi setelah menggunakan metode MBBR dengan waktu tinggal 72 jam

a. Reaktor 1 (20% media *kaldness*)

$$\begin{aligned} \text{TSS mg/L} &= \frac{(2.049-0,1474) \times 1000}{0,1 L} \\ &= 575 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

b. Reaktor 2 (35% media *kaldness*)

$$\begin{aligned} \text{TSS mg/L} &= \frac{(2.031-0,1474) \times 1000}{0,1 L} \\ &= 557 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

Lampiran 2. Efektivitas penyisihan TSS dan COD

1. Parameter TSS

a. Reaktor 1, dengan waktu tinggal 24 jam

$$\begin{aligned} \text{efektifitas (\%)} &= \frac{\text{TSS awal} - \text{TSS akhir}}{\text{TSS awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{849 - 621}{849} \times 100 \% \\ &= 26,85 \% \end{aligned}$$

b. Reaktor 2, dengan waktu tinggal 24 jam

$$\begin{aligned} \text{efektifitas (\%)} &= \frac{\text{TSS awal} - \text{TSS akhir}}{\text{TSS awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{849 - 582}{849} \times 100 \% \\ &= 31,44 \% \end{aligned}$$

c. Reaktor 1, dengan waktu tinggal 48 jam

$$\begin{aligned} \text{efektifitas (\%)} &= \frac{\text{TSS awal} - \text{TSS akhir}}{\text{TSS awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{849 - 598}{849} \times 100 \% \\ &= 29,56 \% \end{aligned}$$

d. Reaktor 2, dengan waktu tinggal 48 jam

$$\begin{aligned} \text{efektifitas (\%)} &= \frac{\text{TSS awal} - \text{TSS akhir}}{\text{TSS awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{849 - 564}{849} \times 100 \% \\ &= 33,56 \% \end{aligned}$$

- e. Reaktor 1, dengan waktu tinggal 72 jam

$$\begin{aligned} \text{efektifitas (\%)} &= \frac{TSS \text{ awal} - TSS \text{ akhir}}{TSS \text{ awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{849 - 575}{849} \times 100\% \\ &= 32,27\% \end{aligned}$$

- f. Reaktor 2, dengan waktu tinggal 72 jam

$$\begin{aligned} \text{efektifitas (\%)} &= \frac{TSS \text{ awal} - TSS \text{ akhir}}{TSS \text{ awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{849 - 557}{849} \times 100\% \\ &= 34,39 \% \end{aligned}$$

2. Parameter COD

- a. Reaktor 1, dengan waktu tinggal 24 jam

$$\begin{aligned} \text{efektifitas (\%)} &= \frac{COD \text{ awal} - COD \text{ akhir}}{COD \text{ awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{9.407 - 8.459}{9.407} \times 100\% \\ &= 10,07\% \end{aligned}$$

- b. Reaktor 2, dengan waktu tinggal 24 jam

$$\begin{aligned} \text{efektifitas (\%)} &= \frac{COD \text{ awal} - COD \text{ akhir}}{COD \text{ awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{9.407 - 8.421}{9.407} \times 100\% \\ &= 10,48\% \end{aligned}$$

- c. Reaktor 1, dengan waktu tinggal 48 jam

$$\begin{aligned} \text{efektifitas (\%)} &= \frac{COD \text{ awal} - COD \text{ akhir}}{COD \text{ awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{9.407 - 7.597}{9.407} \times 100\% \\ &= 19,24\% \end{aligned}$$

- d. Reaktor 2, dengan waktu tinggal 48 jam

$$\begin{aligned} \text{efektifitas (\%)} &= \frac{COD \text{ awal} - COD \text{ akhir}}{COD \text{ awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{9.407 - 7.530}{9.407} \times 100\% \\ &= 19,95\% \end{aligned}$$

- e. Reaktor 1, dengan waktu tinggal 72 jam

$$\begin{aligned} \text{efektifitas (\%)} &= \frac{COD \text{ awal} - COD \text{ akhir}}{COD \text{ awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{9.407 - 6.864}{9.407} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 27,03\%$$

f. Reaktor 2, dengan waktu tinggal 72 jam

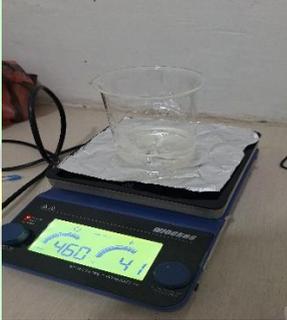
$$efektifitas (\%) = \frac{COD\ awal - COD\ akhir}{COD\ awal} \times 100 \%$$

$$= \frac{9.407 - 6847}{9.407} \times 100\%$$

$$= 27,21\%$$



Lampiran 3. Dokumentasi penelitian

	
<p>Pengambilan sampel di kolam <i>buffer pond</i></p>	<p>Persiapan <i>seeding</i> pada media <i>kaldness</i></p>
	
<p>Proses <i>seeding</i> pada media <i>kaldness</i></p>	<p>Pengenceran gula yang digunakan sebagai nutrisi pada proses <i>seeding</i></p>
	
<p>Hasil <i>seeding</i></p>	<p>Proses pengaplikasian reaktor</p>
	

<p>Pengambilan sampel yang sudah mengalami proses MBBR untuk dilakukan pengujian parameter</p>	<p>Pengujian parameter TSS</p>
	
<p>Penimbangan kertas saring</p>	<p>Pengujian parameter COD</p>
	
<p>Pengecekan nilai COD</p>	<p>Sampel dipanaskan pada COD reaktor</p>
	
<p>Lindi sebelum mengalami proses MBBR</p>	<p>Pengujian parameter pH</p>

Lampiran 4. Prosedur Pengukuran Parameter Lindi

1. Pengukuran pH

Cara pengukuran pH dijelaskan sesuai (SNI 6989.11:2019) sebagai berikut:

- a. Sampel air limbah dikocok hingga homogen.
- b. Sebuah gelas *beaker pyrex* digunakan untuk menampung hingga 100 mL sampel.
- c. pH meter diaktifkan dan ujung elektroda pH meter dicelupkan kedalam sampel.
- d. Pembacaan pada pH meter ditunggu hingga stabil.
- e. Nilai pH yang terbaca dicatat.

2. Pengukuran COD

Cara pengukuran COD dijelaskan sesuai (SNI 6989.2:2019) sebagai berikut:

- a. Sampel dimasukkan kedalam tabung COD 2,5 mL, selanjutnya 1,5 mL larutan campuran $K_2Cr_2O_7$ dan 3,5 mL larutan H_2SO_4 ditambahkan kedalam tabung COD dan kemudian ditutup.
- b. COD reaktor diambil, selanjutnya tombol start pada COD reaktor ditekan dan ditunggu suhu naik hingga $150^{\circ}C$.
- c. Tabung COD dimasukkan ke dalam reaktor COD dengan temperatur $150^{\circ}C$ selama 2 jam.
- d. Tabung didinginkan, kemudian pengukuran sampel dilakukan menggunakan COD Meter.

3. Pengukuran TSS

Cara pengukuran TSS dijelaskan sesuai (SNI 6989.3:2019) sebagai berikut:

- a. Penyaringan dilakukan melalui penggunaan peralatan penyaringan. Kertas saring dibasahi dengan sedikit air bebas mineral.
- b. Sampel uji diaduk sampai homogen, kemudian sampel volume tertentu diambil secara kuantitatif dan ditempatkan pada media filter. Sistem vakum harus dihidupkan.
- c. Bilas media filter 3 kali dengan 10 mL air bebas mineral setiap kali, kemudian vakum filter sampai air habis.
- d. Tempatkan filter serat kaca dengan hati-hati ke dalam media penimbangan setelah melepaskannya dari perangkat filter.
- e. Keringkan media timbang atau cawan yang berisi media saring dalam oven

pada suhu 103°C sampai dengan 105°C selama minimal 1 jam, kemudian didinginkan dalam desikator sebelum ditimbang.

f. Dihitung TSS dan dilaporkan hasil.



Lampiran 5. Rencana Anggaran Biaya (RAB)

No.	Alat Dan Bahan	Kuantitas	Harga
1	Jerigen (20 L)	1	50.000
2	Reaktor pipa	2	220.000
3	Aerator aquarium	2	80.000
4	Media kaldness	1 kg	95.000
5	Sarung tangan medis	1 kotak	50.000
6	Masker medis	1 kotak	35.000
7	Kertas saring whattman 41	7 lembar	70.000
8	Aquades	2 L	6.000
9	Aluminium foil	1	30.000
10	H ₂ SO ₄	100 ml	55.000
11	K ₂ Cr ₂ O ₇	100 ml	60.000
12	Gula	500 gram	10.000
total			761.000

