

**PENGARUH PENAMBAHAN *ECO-ENZYME* TERHADAP
PENURUNAN BEBERAPA PARAMETER LIMBAH AIR LINDI
DI TPA BLANG BINTANG**

TUGAS AKHIR

MU'AMMAR

NIM. 190702105

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



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2026/1448 H**

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR
PENGARUH PENAMBAHAN *ECO-ENZYME* TERHADAP
PENURUNAN BEBERAPA PARAMETER LIMBAH AIR LINDI
DI TPA 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

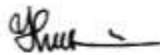
Diajukan Oleh:
MU'AMMAR

190702105

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

Banda Aceh, 13 Agustus 2026
Disetujui Oleh:

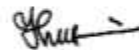
Pembimbing



Husnawati Yahya, S.Si, M.Sc.

NIDN. 2009118301

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan



Husnawati Yahya, S.Si, M.Sc.

NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH PENAMBAHAN ECO-ENZYME TERHADAP
PENURUNAN BEBERAPA PARAMETER AIR LINDI DI TPA
BLANG BINTANG

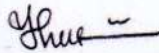
SKRIPSI

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir/Skripsi
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh Dan Dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu Teknik Lingkungan.

Pada Hari/Tanggal: Kamis/13 Agustus 2026
Kamis 29 Shafar 1448 H

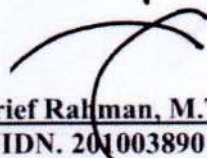
Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir/Skripsi

Ketua,

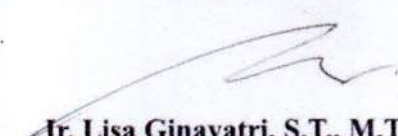


Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.
NIDN. 2009118301

Penguji I,

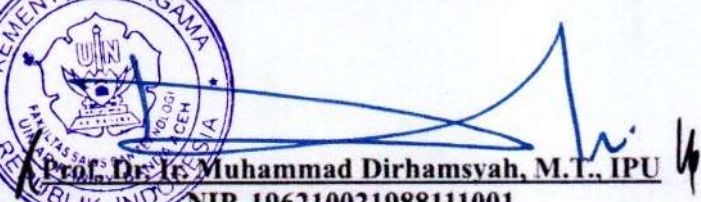

Arief Rahman, M.T.
NIDN. 2010038901

Penguji II,


Ir. Lisa Ginayatri, S.T., M.T.

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




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

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama : Mu'ammarr
Nim : 190702105
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Penambahan *Eco-Enzyme* terhadap penurunan beberapa parameter air lindi di TPA Blang Bintang

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggung jawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izinn pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi atau mealsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;

Bila di kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang benar 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.

Banda Aceh, 13 Agustus 2026

Yang menyatakan,



Mu'ammarr

ABSTRAK

Nama : Mu'ammarr
NIM : 190702105
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Penambahan *Eco-Enzyme* terhadap penurunan beberapa parameter air lindi di TPA Blang Bintang
Tanggal Sidang : 13 Agustus 2026
Jumlah Halaman : 39 Halaman
Pembimbing : Husnawati Yahya, S.Si, M.Sc.
Kata Kunci : Air lindi, *COD*; *BOD*; *TSS*; *Eco-enzyme*, TPA Blang Bintang, Instalasi Pengolahan Air (IPA)

Air lindi merupakan limbah cair kompleks yang dihasilkan dari proses perkolasi air melalui timbunan sampah di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penambahan *eco-enzyme* berbasis kulit jeruk dan nanas terhadap penurunan parameter pH, Total Suspended Solids (TSS), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biochemical Oxygen Demand (BOD) pada air lindi TPA Regional Blang Bintang. Penelitian menggunakan metode eksperimental laboratorium dengan desain *pretest-posttest*. Sampel air lindi diberi perlakuan *eco-enzyme* pada variasi konsentrasi 10%, 15%, dan 20% dengan waktu kontak 12, 24, dan 72 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *eco-enzyme* efektif menurunkan parameter air lindi. Penurunan pH dari 8,1 menjadi 7,5 pada konsentrasi 20% waktu kontak 24 jam. Efisiensi penurunan TSS tertinggi mencapai 16,2% pada konsentrasi 20% waktu kontak 72 jam. COD mengalami penurunan signifikan dari 3.231 mg/L menjadi 1.342 mg/L (efisiensi 58,5%) pada konsentrasi 15% waktu kontak 24 jam. Nilai BOD menurun dari 35,8 mg/L menjadi 17,2 mg/L pada perlakuan yang sama. Konsentrasi optimum diperoleh pada penambahan 15% dengan waktu kontak 24 jam. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan *eco-enzyme* pada waktu tunggu 24 jam dengan variasi 20% menghasilkan penurunan yang signifikan.

ABSTRACT

Name : Mu'ammar
Student ID : 190702105
Department : Environmental Engineering
Title : *The Effect of Eco-Enzyme Addition on the Reduction of Selected Leachate Parameters at the Blang Bintang Landfill*
Date of Session : 13 Agustus 2026
Number of Pages : 39 Pages
Supervisor : Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.
Keywords : Eco-enzyme; Leachate; COD; BOD; TSS; Sanitary landfill; Wastewater treatment

Leachate is a complex liquid waste produced by the percolation of water through the waste pile at a sanitary landfill. The objective of this study is to analyze the effectiveness of adding an eco-enzyme made from orange and pineapple peels in reducing the pH, total suspended solids (TSS), chemical oxygen demand (COD), and biochemical oxygen demand (BOD) parameters in the leachate from the Blang Bintang Regional Sanitary Landfill. The study employed a laboratory experimental method with a pretest-posttest design. Leachate samples were treated with eco-enzyme at concentrations of 10%, 15%, and 20% for 12, 24, and 72 hours. The results of the study showed that the addition of eco-enzyme effectively reduced the leachate parameters. The pH decreased from 8.1 to 7.5 at a concentration of 20% and a contact time of 24 hours. The highest TSS reduction efficiency was 16.2% at a 20% concentration and a contact time of 72 hours. COD decreased significantly from 3,231 mg/L to 1,342 mg/L (58.5% efficiency) at a 15% concentration and a contact time of 24 hours. The BOD value decreased from 35.8 mg/L to 17.2 mg/L with the same treatment. The optimal concentration was achieved with a 15% addition and a 24-hour contact time. This research shows that the addition of eco-enzyme at a 24-hour waiting time with a 20% variation produces a significant decrease..

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji bagi Allah Swt. Tuhan yang maha Esa, pencipta alam semesta yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. *Shalawat* beriringan salam kita sanjungkan kepada Baginda Rasulullah saw. serta kepada keluarga dan para sahabat beliau. Dengan pertolongan-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Pengaruh Penambahan *Eco-Enzyme* terhadap penurunan beberapa parameter air lindi di TPA Blang Bintang”. Tugas akhir ini disusun guna memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) di Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan, bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirmansyah, MT., IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-raniry Banda Aceh.
2. Ibu Husnawati Yahya, S. Si., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Proposal, Dosen Pembimbing Akademik dan Ketua Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negri Ar-raniry Banda Aceh
3. Bapak Aulia Rohendri, M.Sc., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar-raniry Banda Aceh.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Lingkungan yang telah memberikan ilmunya selama ini.
5. Terimakasih untuk seluruh keluarga saya yang telah mendukung dan menyemangati saya sampai saat ini.
6. Semua teman-teman Prodi Teknik Lingkungan angkatan 2019 yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, baik dari segi penyusunan maupun isi. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat serta wawasan baru bagi para pembaca, khususnya di bidang Teknik Lingkungan.

Banda Aceh, 13 Agustus 2026

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 TPA Regional BPSR Blang Bintang	6
2.2 Air Lindi (<i>Leachate</i>)	7
2.2.1 Mekanisme Pembentukan.....	8
2.2.2 Dampak Lingkungan	8
2.3 Parameter Kualitas dan Baku Mutu Air Air Lindi	9
2.3.1 Derajat Keasaman (pH)	9
2.3.3 <i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD).....	10
2.3.4 <i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD)	11
2.4 <i>Eco-Enzyme</i>	11
2.4.1 Mekanisme Kerja Enzim pada Polutan	11
2.4.2 Potensi Limbah Kulit Jeruk dan Nanas	12
2.5 Regulasi dan Baku Mutu	12
BAB III METODELOGI PENELITIAN.....	15
3.1 Waktu dan Lokasi Pengambilan sampel	15
3.2 . Jenis dan Desain Penelitian	16
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	16

3.2.1 Waktu Penelitian	16
3.2.2 Tempat Penelitian	16
3.3 Alat dan Bahan.....	17
3.3.1 Alat	17
3.3.2 Bahan	19
3.4 Variabel Penelitian	20
3.4.1 Variabel Bebas	20
3.4.2 Variabel Terikat.....	20
3.4.3 Variabel Kontrol	20
3.5 Prosedur Penelitian	21
3.5.1 Pengambilan Sampel Air Lindi	21
3.5.2 Uji Pendahuluan	21
3.5.3 Proses Perlakuan dengan <i>Eco Enzyme</i>	21
3.5.4. Hasil Uji awal	22
3.6 Analisa Data	22
3.7 Diagram Eksperimen	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Efektivitas Penambahan <i>Eco-Enzyme</i> terhadap Penurunan Parameter Lindi.	24
4.2 Pengaruh Variasi <i>eco-enzyme</i> terhadap penurunan parameter air lindi ..	25
4.2.1 Hasil Pengujian pH.....	25
4.2.2 Hasil Pengujian TSS	26
4.2.3 Hasil Pengujian COD	29
4.2.4 Hasil Pengujian BOD	31
4.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Eco-Enzyme	33
4.4 Pengaruh Waktu Ti nggal.....	33
BAB V PENUTUP	34
5.1 Kesimpulan.....	34
5.2 Saran	35
DAFTAR PUSTAKA.....	36
LAMPIRAN.....	37

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tabel Bakumutu Air lindi	9
Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu	13
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian.....	16
Tabel 3.2 Gambar dan fungsi alat.....	17
Tabel 3.3 Gambar dan Fungsi bahan	19
Tabel 3.4 Variabel Penelitian	20
Tabel 3.5 Hasil Uji awal sebelum diberi perlakuan.....	22
Tabel 4.1 Hasil Pengujian pH Air Lindi Setelah Penambahan Eco-Enzyme	25
Tabel 4.2 Hasil Pengujian TSS Setelah Perlakuan	27
Tabel 4.3 Hasil Pengujian COD Setelah Perlakuan.....	29
Tabel 4.4 Hasil Pengujian BOD Setelah Perlakuan.....	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kondisi Eksisting TPA Blang Bintang.....	6
Gambar 2.2 Bak Penampungan Akhir Air Lindi	7
Gambar 3.1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel.....	15
Gambar 3.2 Kolam Terakhir penampungan Lindi di TPA Blang Bintang.....	16
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 4.1 Grafik Perubahan Nilai pH	25
Gambar 4.2 Grafik Perubahan Nilai TSS	28
Gambar 4.3 Grafik Paramter penurunan COD	29
Gambar 4.4 Grafik penurunan parameter BOD.....	32

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

TPA Regional Blang Bintang merupakan pusat pembuangan sampah akhir bagi wilayah Kota Banda Aceh dan Kabupaten Aceh Besar. Tempat ini menjadi tujuan akhir dari sampah domestik di seluruh kota Banda Aceh dan Sebagiah Aceh Besar. TPA Regional Blang Bintang merupakan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) regional yang berlokasi di Kecamatan Blang Bintang, Kabupaten Aceh Besar. TPA ini dibangun untuk melayani pengelolaan sampah dari wilayah Kota Banda Aceh dan Kabupaten Aceh Besar sebagai solusi atas keterbatasan daya tampung TPA sebelumnya, yaitu TPA Gampong Jawa.

Air lindi merupakan cairan hasil perkolasi air hujan atau air permukaan yang melewati timbunan sampah dan melarutkan berbagai senyawa organik maupun anorganik di dalamnya. Proses ini menghasilkan cairan kompleks yang mengandung bahan organik terlarut, padatan tersuspensi, senyawa nitrogen, fosfat, serta logam berat yang bersifat toksik bagi lingkungan. Pembentukan air lindi terjadi melalui interaksi fisik, kimia, dan biologis selama proses dekomposisi sampah (Kjeldsen et al., 2002).

Komposisi air lindi sangat dipengaruhi oleh proses biodegradasi bahan organik. Pada fase awal, aktivitas mikroorganisme menghasilkan senyawa organik terlarut dalam jumlah tinggi yang berkontribusi terhadap tingginya nilai Chemical Oxygen Demand (COD). Selain itu, proses dekomposisi anaerobik menghasilkan amonia, asam organik, serta senyawa reduktif lain yang memperburuk kualitas air lindi. Kondisi ini menjadikan air lindi sebagai salah satu jenis limbah cair dengan beban pencemar tinggi (Renou et al., 2008).

Selain kandungan organik, air lindi juga mengandung padatan tersuspensi (Total Suspended Solid/TSS) yang berasal dari degradasi fisik sampah serta partikel halus hasil pelapukan material. Interaksi antara fase padat dan cair dalam timbunan sampah juga memicu proses pelarutan dan pertukaran ion yang

menyebabkan meningkatnya konsentrasi zat pencemar di dalam air lindi (Christensen et al., 2001).

Dampak lingkungan dari air lindi cukup serius apabila tidak dikelola dengan baik. Air lindi dapat mencemari air tanah dan air permukaan melalui pergerakan infiltrasi, sehingga menurunkan kualitas air dan mengganggu keseimbangan ekosistem perairan. Kandungan organik yang tinggi juga dapat menurunkan kadar oksigen terlarut, yang berdampak pada kelangsungan hidup organisme akuatik (Renou et al., 2008).

Lindi (*Leachate*) adalah cairan yang merembes melalui tumpukan sampah dengan membawa materi terlarut atau tersuspensi terutama hasil proses dekomposisi materi sampah (Resti, 2017). Air lindi yang dihasilkan di Tempat Pemrosesan Akhir, Badan Penanggulangan Sampah Regional (TPA BPSR) Blang Bintang memiliki karakteristik polutan yang sangat kompleks. Cairan ini mengandung bahan organik yang sangat tinggi yang tercermin dari nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan TSS (*Total Suspended Solids*) yang melampaui baku mutu. Kadar TSS dan COD yang tinggi pada air lindi TPA BPSR Blang Bintang menunjukkan bahwa air tersebut memiliki tingkat toksisitas yang tinggi dan sangat berbahaya bagi biota air jika dialirkan ke badan air penerima tanpa pengolahan yang sesuai dengan standar (Peraturan Menteri LHK No. P.59 Tahun 2016). Jika sistem pengolahan tidak optimal, air lindi berisiko merembes ke lapisan akuifer dan mencemari sumber air tanah masyarakat di sekitar wilayah Blang Bintang. Dari pengujian awal, parameter yang didapatkan untuk pH adalah 8.1, kemudian parameter COD adalah 3.232 mg/l dan untuk TSS adalah 6.228 mg/l. Hasil ini di dapatkan saat pengambilan sampel awal.

Salah satu metode alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis untuk menurunkan beban pencemar air lindi adalah dengan pemanfaatan *Eco-enzyme*. Enzim-enzim ini bekerja sebagai *biokatalis* yang mampu memecah molekul polutan kompleks dalam air lindi menjadi senyawa yang lebih sederhana dan stabil. Mengingat pembuatan *Eco-enzyme* mudah dan murah maka penggunaan ini lebih di sukai oleh masyarakat. *Eco-enzyme* pertama kali di cetus oleh Dr.

Rosukon Poompavong, yaitu seorang peneliti dari Thailand yang telah menekuni tentang *eco-enzyme* lebih dari 30 tahun (Hasanah 2020)

Penurunan kadar *Total Suspended Solids* (TSS) yang signifikan melalui penambahan *eco-enzyme* mengindikasikan bahwa enzim hasil fermentasi mandiri ini mampu mendegradasi atau mengendapkan partikel tersuspensi di dalam air limbah. Kendati demikian, karena *eco-enzyme* tersebut diproduksi secara non-komersial, komposisi dan aktivitas enzim yang dihasilkan cenderung bervariasi dan belum terstandarisasi layaknya produk komersial yang telah dioptimalkan. Berdasarkan beberapa literatur, kualitas, stabilitas, dan keragaman komposisi enzim memegang peranan krusial dalam menentukan efektivitas penyisihan polutan TSS. (Galintin, 2021)

Bahan-bahan yang digunakan dalam *Eco-enzyme* seperti kulit jeruk dan nanas mengandung *asam sitrat* dan *enzim bromelin* yang tinggi, yang secara teoritis kedua kulit tersebut memiliki efektivitas lebih baik dalam menetralkan pH dan mengikat padatan tersuspensi (TSS) pada limbah cair. Penggunaan *eco-enzyme* ini juga mendukung konsep *zero waste* (meminimalisirkan residu sampah lingkungan yang terbuang sia-sia) dengan memanfaatkan kembali sampah buah menjadi agen pembersih limbah.

Kandungan di dalam *Eco-enzyme* sesuai dengan karakteristik air lindi di TPA Blang Bintang, karena mampu menetralkan pH tinggi, mengurangi TSS, dan menurunkan COD. Berdasarkan Uji Pendahuluan, Kombinasi kedua bahan ini tepat sebagai bio-koagulan dan agen penjernih limbah. Air lindi di TPA Blang Bintang memiliki pH yang agak tinggi di angka 8.1, hal ini dapat dinetralkan dengan asam sitrat dari kulit jeruk yang terdapat di *eco-enzyme*, Bromelin yang terdapat di *eco-enzyme* dapat memecahkan protein dan flok yang dapat mengendapkan partikel mineral di dasar wadah. Unsur organik yang terdapat pada *Eco-enzyme* dapat mengurangi beban organik yang terdapat di dalam air lindi.

Meskipun potensi *eco-enzyme* sebagai agen penjernih air mulai diakui, efektivitasnya sebagai bio-koagulan khusus pada parameter TSS air limbah TPA memerlukan kajian lebih lanjut. Hal ini dikarenakan karakteristik *eco-enzyme* yang juga mengandung beban organik tinggi, sehingga penambahan dosis yang tidak tepat justru berisiko meningkatkan nilai pencemar lainnya. Oleh karena itu,

diperlukan penelitian untuk menganalisis kemampuan *eco-enzyme* dalam menurunkan kadar pH, TSS, COD, dan BOD serta menentukan titik optimum antara dosis dan waktu kontak guna menghasilkan kualitas air olahan yang memenuhi baku mutu. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian dengan judul "Pengaruh *Eco-Enzyme* terhadap penurunan beberapa Parameter limbah Lindi di TPA Terpadu Blang Bintang" penting untuk dilaksanakan sebagai kontribusi dalam pengembangan teknologi pengolahan air limbah yang berbasis lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimanakah efektivitas penambahan variasi *eco-enzyme* berbasis kulit jeruk dan nanas terhadap penurunan kadar pH, TSS, COD dan BOD pada air lindi?
2. Bagaimana pengaruh variasi persentase penambahan *eco-enzyme* pada air lindi terhadap penurunan parameter pH, TSS, COD dan BOD?
3. Bagaimana pengaruh Variasi waktu tinggal antar *eco-enzyme* dan air lindi terhadap penurunan parameter pH, TSS, COD dan BOD?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Memperoleh angka penurunan paling signifikan setelah dilakukan penambahan *eco enzyme* pada air lindi.
2. Memperoleh efektivitas penurunan kadar pH, TSS, COD dan BOD setelah pemberian variasi dosis *eco-enzyme*.
3. Memperoleh efektivitas penurunan kadar pH, TSS, COD dan BOD setelah pemberian variasi waktu kontak pada sampel yang di tambahkan *eco-enzyme*.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Memberikan referensi ilmiah mengenai penggunaan *eco-enzyme* sebagai alternatif pengolahan air lindi yang lebih ramah lingkungan.
2. Memanfaatkan limbah kulit buah (jeruk dan nanas) menjadi produk yang memiliki nilai guna (*zero waste*).
3. Memberikan informasi bagi pengelola TPA BPSR Blang Bintang mengenai metode alternatif penurunan beban pencemar lindi.

1.5 Batasan Masalah

1. Sampel Air lindi diambil dari Kolam pengolahan terakhir TPA Blang Bintang.
2. Parameter Pengujian dibatasi pada parameter pH, TSS, COD dan BOD, dikarenakan keterbatasan waktu saat penelitian.
3. Variasi Pengujian ini hanya terbagi 12 jam, 24 jam dan 72 jam.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TPA Regional BPSR Blang Bintang

TPA Regional BPSR Blang Bintang merupakan fasilitas pengolahan sampah akhir yang melayani wilayah Kota Banda Aceh dan Kabupaten Aceh Besar. Sebagai pusat manajemen residu sampah regional, TPA ini memiliki peran krusial dalam mencegah pencemaran lingkungan akibat timbunan sampah yang terus meningkat setiap tahunnya. Untuk memberikan gambaran kondisi lokasi penelitian, berikut disajikan dokumentasi visual terkait TPA Regional BPSR Blang Bintang sebagai tempat pengambilan sampel air lindi



Gambar 2.1 Kondisi Eksisting TPA Blang Bintang

2.2 Air Lindi (*Leachate*)

Air lindi (*leachate*) adalah cairan yang terbentuk ketika air hujan atau cairan lain merembes melalui tumpukan sampah di TPA, membawa partikel organik dan anorganik, nutrisi, logam berat, serta mikroorganisme (Harahap, M. R. 2020., Rasyidah 2024)). Air lindi didefinisikan sebagai cairan yang dihasilkan dari perkolasi air eksternal (terutama air hujan) yang menembus tumpukan sampah, berinteraksi dengan produk degradasi biologis, dan melarutkan senyawa kimia serta materi tersuspensi.



Gambar 2.2 Bak Penampungan Akhir Air Lindi

Karakteristik yang khas dan kandungan toksik tersebut menyebabkan air lindi menjadi ancaman serius bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat jika dibiarkan tanpa pengolahan. Dari segi lingkungan, rembesan air lindi dapat mengubah kondisi fisikokimia perairan, mencemari tanah, aliran sungai (air permukaan), hingga mencemari sumber air tanah atau sumur warga di sekitar TPA (Wulandari & Putra, 2024). Pencemaran ini merusak ekosistem akuatik dan menyebabkan terjadinya biomagnifikasi, yaitu terakumulasinya logam berat pada jaringan tubuh hewan konsumsi seperti ikan dan hewan ternak (Nugroho & Susanti, 2023).

Bagi manusia, paparan air lindi baik melalui konsumsi air tanah yang terkontaminasi maupun melalui rantai makanan dapat memicu gangguan

kesehatan kronis. Paparan logam berat timbal (Pb) dapat merusak fungsi ginjal, hati, dan sistem saraf otak (Wulandari & Putra, 2024). Logam berat merkuri dapat memicu terjadinya kanker, disfungsi hati, serta gangguan saraf parah yang ditandai dengan kejang dan tremor (Siregar, 2024). Paparan kadmium (Cd) dapat menyebabkan mual dan muntah kronis. Selain itu, konsumsi air minum warga yang tercemar kandungan besi (Fe) tinggi dari lindi dapat mengakibatkan *hemochromatosis*, yaitu penyakit keracunan atau penumpukan zat besi di dalam tubuh (Pratama & Wijaya, 2025). Tingginya bahaya ini menuntut adanya alternatif pengolahan air lindi yang efektif dan ramah lingkungan sebelum dibuang ke badan air.

2.2.1 Mekanisme Pembentukan

Pembentukan lindi merupakan hasil kombinasi proses fisik, kimia, dan biologis. Secara fisik, lindi membawa partikel halus (TSS) dari tumpukan sampah. Secara kimiawi, terjadi pelarutan mineral dan senyawa organik kompleks. Air lindi terbentuk sebagai hasil perkolasi air melalui lapisan sampah di landfill, selama proses itu air mengakumulasi senyawa organik dan anorganik melalui pelarutan dan degradasi biologis sampah. Komposisi kimia leachate berubah seiring waktu dan dikendalikan oleh mekanisme fisika-kimia seperti pelarutan, adsorpsi, dan pertukaran ion.” (Kjeldsen et al., 2002; Christensen et al. 2001)

2.2.2 Dampak Lingkungan

Air lindi mengandung senyawa organik dan anorganik yang kompleks, yang jika tidak dikelola dengan tepat dapat mencemari lingkungan sekitar. Senyawa pencemar seperti COD, BOD, logam berat dan nutrisi di dalam leachate dapat menurunkan kualitas air tanah dan permukaan, menyebabkan penurunan oksigen terlarut, dan merusak ekosistem akuatik. Selain itu, akumulasi logam berat di dalam jaringan organisme dan perubahan sifat kimia tanah berpotensi mengurangi produktivitas lahan serta membawa risiko kesehatan bagi masyarakat yang bergantung pada sumber air yang tercemar (Renou et al., 2008).

Jika cairan ini merembes ke dalam tanah (infiltrasi), ia akan mencemari zona akuifer air tanah. Hal ini sangat berbahaya bagi masyarakat di sekitar Blang Bintang yang masih bergantung pada sumur gali untuk kebutuhan air bersih.

2.3 Parameter Kualitas dan Baku Mutu Air Air Lindi

Baku mutu air lindi tertulis dalam (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 59 Tahun 2016) Tentang baku mutu air lindi adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Tabel Bakumutu Air lindi

Parameter	Kadar Paling Tinggi	
	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

Dalam analisis efektivitas *eco-enzyme*, terdapat tiga parameter utama yang menjadi indikator tingkat pencemaran, ketiga parameter tersebut adalah:

2.3.1 Derajat Keasaman (pH)

Penambahan *eco-enzyme* memberikan pengaruh yang sangat dinamis terhadap fluktuasi nilai pH air limbah. Pada awal pencampuran (fase awal treatment), penambahan *eco-enzyme* umumnya akan menyebabkan penurunan nilai pH secara instan, membuat kondisi air limbah cenderung menjadi lebih asam. Penurunan ini disebabkan oleh karakteristik alami dari cairan *eco-enzyme* yang memiliki pH rendah (asam), karena mengandung konsentrasi asam-asam organik yang tinggi, seperti asam asetat dan asam laktat hasil dari proses fermentasi selama pembuatan. Meskipun terjadi penurunan pH di awal, seiring berjalannya waktu kontak atau masa retensi, nilai pH air limbah biasanya akan

mengalami stabilisasi atau bergerak kembali menuju kondisi netral. Hal ini terjadi karena aktivitas enzimatik dan mikroorganisme fungsional di dalam campuran tersebut mulai merombak senyawa asam organik menjadi produk sampingan yang lebih stabil, sekaligus mendegradasi polutan asam atau basa asli dari air limbah itu sendiri. Dengan demikian, *eco-enzyme* dapat berfungsi sebagai agen pengkondisi (buffering agent) yang membantu menetralkan pH air limbah pada akhir masa pengolahan jika diberikan dengan rasio yang tepat (Suryani, 2024)

2.3.2 Total Suspended Solids (TSS)

Efektivitas *eco-enzyme* buatan sendiri dalam mengurangi TSS tampak bervariasi berdasarkan konsentrasi yang digunakan. Pada konsentrasi 1 ml, *eco-enzyme* menunjukkan pengaruh yang cukup kecil terhadap penurunan TSS, yang mungkin disebabkan oleh konsentrasi enzim yang tidak mencukupi untuk menguraikan seluruh partikel tersuspensi. Pada konsentrasi 5 ml, efek penurunan TSS lebih terlihat dan signifikan, yang menunjukkan bahwa pada tingkat ini, enzim memiliki konsentrasi yang cukup untuk bekerja secara efektif terhadap partikel tersuspensi (Khadaroo et al., 2019). Namun, pada konsentrasi 10 ml, efek penurunan TSS justru mulai menurun atau menjadi tidak signifikan, yang mungkin disebabkan oleh fenomena saturasi enzim. Penelitian oleh (Azanaw et al. 2022) menunjukkan bahwa konsentrasi enzim yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penghambatan aktivitas enzim karena interaksi antar molekul enzim yang berlebihan, yang dapat mengurangi efektivitasnya.

2.3.3 Chemical Oxygen Demand (COD)

Efektivitas penambahan *eco-enzyme* dalam menurunkan nilai Chemical Oxygen Demand (COD) sangat bergantung pada optimasi dosis dan waktu retensi yang digunakan. Pada konsentrasi yang optimal, *eco-enzyme* bertindak sebagai katalis yang mempercepat pemutusan rantai senyawa organik kompleks di dalam air limbah menjadi senyawa yang lebih sederhana, sehingga mikroorganisme dapat mendegradasi polutan tersebut dengan lebih mudah. Proses biodegradasi yang efisien ini pada akhirnya akan menurunkan beban organik dan menurunkan nilai COD secara signifikan (Marlina, 2023)

2.3.4 Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Parameter BOD merupakan salah satu parameter penting dalam penentuan kualitas air bersih dan air limbah. Nilai BOD menggambarkan jumlah bahan organik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*), di mana semakin tinggi nilai BOD menunjukkan beban pencemaran organik yang semakin tinggi pula di perairan tersebut.

2.4 *Eco-Enzyme*

Eco-enzyme adalah larutan kompleks yang dihasilkan melalui fermentasi anaerobik limbah organik. *Eco-enzymet* Terbuat dari beberapa jenis kulit buah

Proses Fermentasi: Selama minimal 90 hari, mikroorganisme seperti bakteri asam laktat dan ragi melakukan proses biokimia yang mengubah karbohidrat menjadi asam organik dan alkohol. Proses ini menghasilkan gas CO^2 dan O^3 (ozon) dalam jumlah kecil, serta meningkatkan konsentrasi enzim di dalam larutan.

- a. Keunggulan sebagai Bio-koagulan: Dibandingkan dengan koagulan kimia (seperti Tawas), *eco-enzyme* bersifat *biodegradable* (mudah terurai), tidak beracun, dan mampu memperbaiki kualitas air tanpa meninggalkan residu logam yang berbahaya bagi tanah.

2.4.1 Mekanisme Kerja Enzim pada Polutan

- a. Protease: Enzim ini mengkatalisis hidrolisis ikatan peptida pada protein polutan, mengubahnya menjadi asam amino yang lebih sederhana sehingga lebih mudah diendapkan.
- b. Amilase: Bekerja dengan memecah polisakarida (karbohidrat kompleks) menjadi gula sederhana yang kemudian dapat didegradasi lebih lanjut oleh mikroorganisme alami di dalam air.
- c. Lipase: Berperan penting dalam memecah lemak dan minyak yang seringkali menyumbat pori-pori filter dan meningkatkan nilai TSS pada air lindi.

- d. Sinergi Penurunan TSS dan COD: Dengan terpecahnya molekul kompleks tersebut, partikel yang tadinya melayang (TSS) akan membentuk flok-flok kecil dan mengendap, sementara beban organik (COD) akan berkurang seiring dengan berubahnya senyawa kompleks menjadi senyawa stabil.

2.4.2 Potensi Limbah Kulit Jeruk dan Nanas

Pemilihan bahan baku sangat menentukan jenis dan kekuatan *enzim* yang dihasilkan:

- a. Kulit Nanas (*Ananas comosus*): Merupakan sumber utama enzim Bromelin. Bromelin adalah protease yang sangat kuat yang mampu mendegradasi protein dalam kondisi pH yang luas, menjadikannya sangat efektif untuk mengolah air lindi yang memiliki TSS tinggi (Saptarini, 2023).
- b. Kulit Jeruk (*Citrus sp.*): Mengandung asam sitrat tinggi dan senyawa limonen. Selain membantu menurunkan pH, kulit jeruk berfungsi sebagai agen pembersih alami dan penetral bau amonia yang sangat menyengat pada air lindi TPA (Molecules 2024).

2.5 Regulasi dan Baku Mutu

Setiap pengolahan limbah di TPA harus merujuk pada standar nasional guna memastikan keamanan lingkungan.

- a. Permen LHK No. 59 Tahun 2016: Secara khusus mengatur baku mutu air lindi bagi kegiatan TPA. Parameter TSS dan COD tidak boleh melampaui 100 mg/L sebelum dialirkan ke badan air.
- b. PP No. 22 Tahun 2021: Mengatur penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup secara umum sebagai dasar hukum utama dalam menjaga kualitas sumber daya air dari pencemaran limbah cair.

Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu

NO	Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian dan variable yang di teliti	Metode penelitian	Hasil Penelitian
1	Syamsuddin Saebu, Rasman, Muh. AHwan Fawwaz	<i>Eco Enzyme</i> Dalam Mendeградasi Bahan Organik Pada Lindi TPA Antang	untuk mengetahui kemampuan <i>eco enzyme</i> dalam mendeградasi bahan organik pada lindi, dengan melakukan penambahan langsung <i>eco enzyme</i> pada sampel lindi TPA	desain one-group pre-post	penambahan <i>eco enzyme</i> dalam menurunkan kadar BOD & COD pada air lindi.
2	Cindy Marta Tilana , Sri Widyastuti	Penurunan E.Coli pada Air Lindi TPA Benowo Menggunakan Eco Enzim	variasi rasio penambahan <i>eco enzim</i> dan lama waktu pencampuran, dapat menurunkan parameter BOD, COD, dan E. Coli pada air lindi	Metode kuantitatif dengan banyak eksperimen	<i>eco enzim</i> dari limbah organik berupa kulit buah dan sayur, kulit pepaya, nanas, semangka, mangga, kubis, dan kangkung, tidak dapat menurunkan BOD dan COD
3	Rasyidah,Rizki Amelia Nasution	Analisis dan Potensi <i>Eco enzyme</i> dari Beberapa Jenis Kulit Buahdalam	mengetahui potensi <i>ekoenzim</i> dari beberapa jenis kulit buah dalam	Deskriptif	<i>ekoenzim</i> memiliki potensi dalam meremediasi limbah air lindi selama lima hari inkubasi

		Remediasi Air Lindi	proses menurunkan kadar TDS COD, BOD, serta jumlah koloni bakteri pada air lindi		
4	Yonik Meilawati Yustiani*, Fadjari Lucia Nugroho, Fauzi Zaki Murtadho & Achmad Teguh Djayadisastra	Pemanfaatan <i>Eco-Enzyme</i> untuk Menurunkan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) pada Air Sungai Sintetis	bertujuan untuk menyelidiki efektivitas enzim ramah lingkungan dalam mengurangi COD air sungai dan pengaruhnya terhadap pH air sungai sintetis yang telah disterilkan.	Menggunakan metode observasi kualitatif	<i>Eco enzyme</i> yang tidak diencerkan dapat meningkatkan COD dan menurunkan pH baik pada aliran sungai maupun ataupun air sungai yang telah di sterilkan.
5	Hariestya Viareco*, Shally Yanova, Jalius, Muhammad Naswir, Nabila Sastra Dewi, Elma Mutmainnah, Besse Syaharani Ziadah	Analisi pengaruh kualitas air limbah terhadap efektifitas <i>eco-enzyme</i>	Menganalisis efektivitas eco-enzyme dalam meningkatkan kualitas air limbah industri	Kuantitatif dengan pendekatan eksperimental laboratorium	<i>Eco-enzyme</i> dapat mengurangi beberapa parameter spesifik (misal ammonia dan surfaktan).

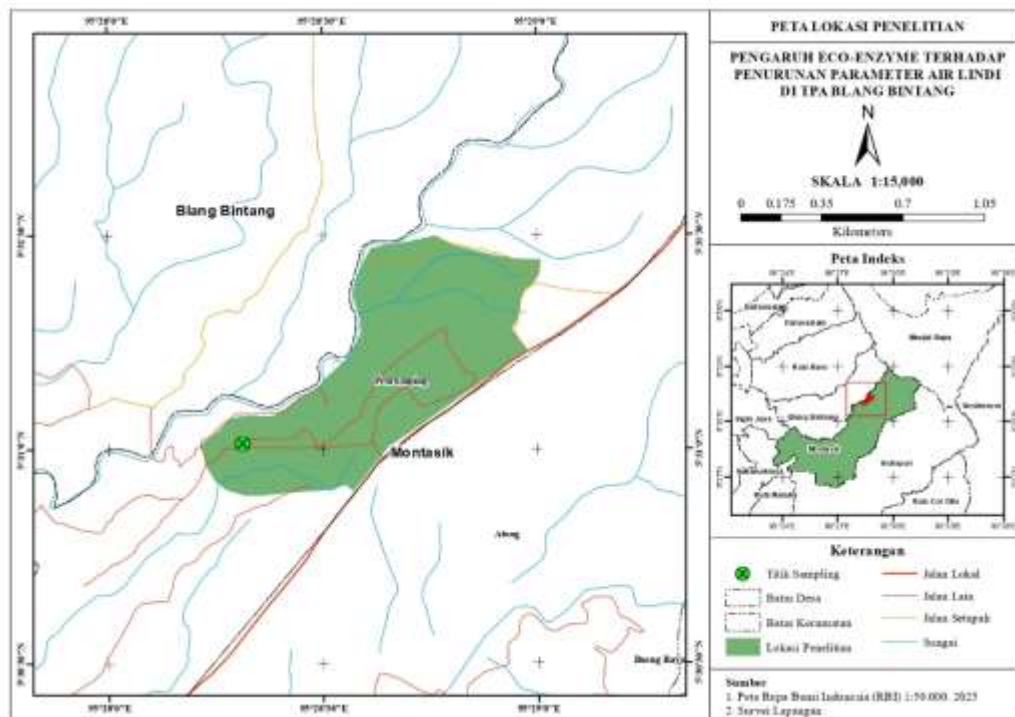
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Pengambilan sampel

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2026. Lokasi penelitian berada di Balai Penanggulangan Sampah Regional TPA Blang Bintang, Kecamatan Blang Bintang, Kabupaten Aceh Besar. TPA ini di pilih karena memiliki volume sampah yang cukup tinggi di bandingkan TPA yang lain di sekitarnya dengan kapasitas sampah harian mencapai 200-250 Ton sampah ,Sampah ini berasal dari Kota Banda Aceh dan Kabpaten Aceh Besar yang berada di sekitar wilayah TPA Tersebut.

TPA Blang Bintang Memiliki Total Luas 206 Hektar dan baru digunakan sekitar 40-45 Hektar lahan,. TPA Blang Bintang juga memiliki Fasilitas Pengolahan Air Lindi yang terpadu sebelum di lepas ke badan air. Berikut Peta Lokasi pengabilan sampel dapat di lihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Peta Lokasi Pengambilan Sampel

3.2 . Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental laboratorium, yaitu penelitian yang dilakukan dengan cara memberikan perlakuan tertentu terhadap sampel dan mengamati perubahan parameter kualitas air lindi setelah penambahan *eco enzyme*.

Desain penelitian yang digunakan adalah pretest–posttest design, yaitu pengujian parameter kualitas air lindi sebelum dan sesudah perlakuan penambahan *eco enzyme*, sehingga dapat diketahui efektivitas *eco enzyme* dalam menurunkan kadar pencemar.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

3.2.1 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2026, meliputi:

Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan Penelitian

Nama Kegiatan Kegiatan	Bulan/Tanggal											
	Juni											
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Persiapan Alat dan Bahan												
Pengambilan sampel air lindi												
Uji Pendahuluan												
Proses perlakuan menggunakan <i>eco-enzyme</i>												
Analisis laboratorium												
Pengolahan dan analisis data												

3.2.2 Tempat Penelitian

Sampel di ambil dari TPA Regional Blang Bintang, Aceh besar, kemudian sampel di bawa ke laboratorium untuk di lakukan pengujian awal dan beberapa variasi penambahan *eco-enzyme*.



Gambar 3.2 Lokasi pengambilan sampel: Kolam Terakhir penampungan Lindi di TPA Regional Blang Bintang

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

Tabel 3. 2 Gambar dan fungsi alat

No	Nama Alat	Gambar Alat	Fungsi Alat
1	Botol Sampel		Botol sampel digunakan pada saat pengambilan sampel dari kolam lindi menuju tempat penyimpanan atau lab tempat pengujian
2	pH meter digital		PH Meter digital digunakan untuk mendapatkan angka parameter pH pada sampel yang di Uji.
3	Gelas ukur		Gelas ukur umumnya terbuat dari kaca yang berbentuk tabung tinggi yang memiliki garis takar volume isi tabung, mulai dari ukuran 25ml-1000ml.
4	Erlenmeyer		Erlenmeyer merupakan wadah yang berbentuk meyempit di atas yang bertujuan untuk menimalisir percikan saat proses pengadukan di dalam wadah.
5	Beaker glass		Gelas ukur umumnya terbuat dari kaca yang berbentuk wadah. Gelas ini memiliki garis ukur untuk mengukur volume sampel yang akan di uji.

6	Magnetic stirrer		Digunakan untuk mengaduk sampel air lindi dengan reagen COD saat pengujian di laboratorium.
7	Turbidity Meter		Alat ini digunakan untuk mencari nilai TSS dari sampel air lindi.
8	Dry Block Heater		Fungsi utama dari alat ini adalah untuk memanaskan sampel dalam tabung reaksi secara kering (tanpa air) pada suhu konstan dan stabil selama waktu tertentu
9	Stopwatch		Digunakan pada proses reaksi COD untuk menghitung waktu reaksi COD, biasanya selama 120 menit.
10	Alat tulis dan dokumentasi		Digunakan untuk mencatat setiap kegiatan selama proses penelitian dan analisis laboratorium secara menyeluruh.

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

Tabel 3. 3 Gambar dan Fungsi bahan

NO	Nama Bahan	Gambar Bahan	Fungsi Bahan
1	Sampel Air Lindi		Air Lindi merupakan bahan ujicoba Utama dalam penelitian ini yang bersumber dari kolam pengolahan lindi terakhir.
2	<i>Eco-Enzyme</i>		<i>Eco-Enzyme</i> di sini bertujuan untuk menurunkan parameter air lindi.
3	Aquades		Aquades atau air non-mineral di gunakan untuk membilas alat lab sebelum dan setelah digunakan.
4	Reagen COD		Reagen COD berperan sebagai katalis saat mencari nilai COD menggunakan reaktor COD

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah konsentrasi *eco enzyme* yang ditambahkan ke dalam air lindi, yaitu:

Tabel
Variabel

3.4

Variasi	Waktu Tinggal			
konsesnt rasi	0 Jam	12 jam	24 jam	72 jam
0%	•			
10%		•	•	•
15%		•	•	•
20%		•	•	•

Penelitian

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah:

1. pH
2. TSS (*Total Suspended Solids*)
3. COD (*Chemical Oxygen Demand*)
4. BOD (*Biochemical Oxygen Demend*)

3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol meliputi:

1. Volume sampel (air lindi)
2. Volume *Eco-enzyme*
3. Waktu Tinggal

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Pengambilan Sampel Air Lindi

Pengambilan sampel dilakukan secara grab sampling di saluran keluaran air lindi TPA. Sampel dimasukkan ke dalam botol , kemudian disimpan dalam cool box dan segera dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian. (Harahap, 2020)

3.5.2 Uji Pendahuluan

Uji pendahuluan dilakukan untuk mengetahui karakteristik awal air lindi sebelum perlakuan. Parameter yang diuji meliputi:

- pH
- TSS
- COD
- BOD

Hasil uji pendahuluan digunakan sebagai data awal (pretest) dan sebagai dasar dalam menentukan dosis *eco enzyme*.

3.5.3 Proses Perlakuan dengan *Eco Enzyme*

1. Sampel air lindi dimasukkan ke dalam wadah sebanyak 200ml
2. *Eco enzyme* ditambahkan dengan konsentrasi 10%, 15%, dan 20% (Galintin et al., 2021)
3. Campuran diaduk selama 10 menit agar homogen.
4. Sampel didiamkan selama jam sebagai waktu Tingga 12 Jam, 24 Jam dan 72 Jam. (Galintin et al., 2021)
5. Setelah waktu kontak tercapai, sampel diuji kembali untuk parameter pH, TSS, COD dan BOD (Rosyidah, 2024)

3.5.4. Hasil Uji awal

Air Lindi yang di ambil dari Bak Penampungan lindi terakhir, kemudian di lakukan pengujian awal sebelum penambahan *eco-enzyme*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas perlakuan dalam menurunkan pH, TSS, COD dan BOD. berikut hasil uji laboratorium :

Tabel 3. 5 Hasil Uji awal sebelum diberi perlakuan

No	Parameter	Hasil Analisa	Satuan
1	pH	8.1	-
2	COD	445	mg/l
3	TSS	6228	mg/l

3.6 Analisi Data

Efisiensi penurunan masing-masing parameter dihitung menggunakan persamaan:

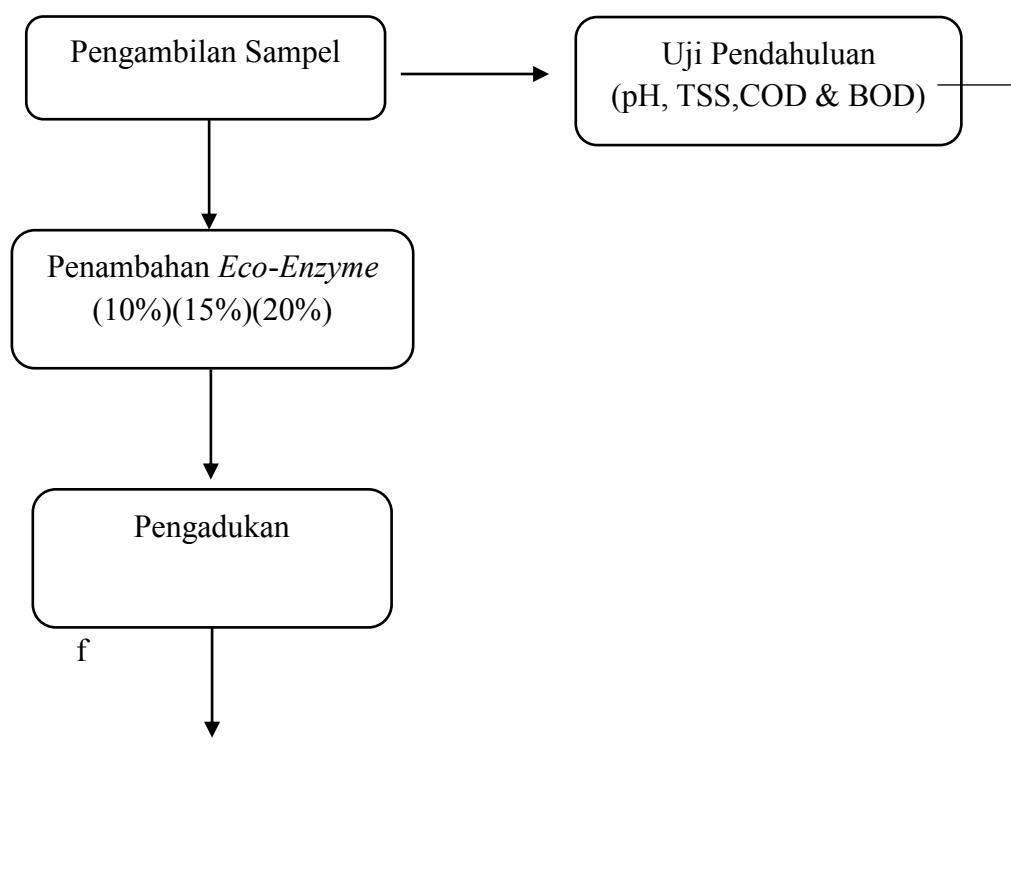
$$\text{Efisiensi} = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100\%$$

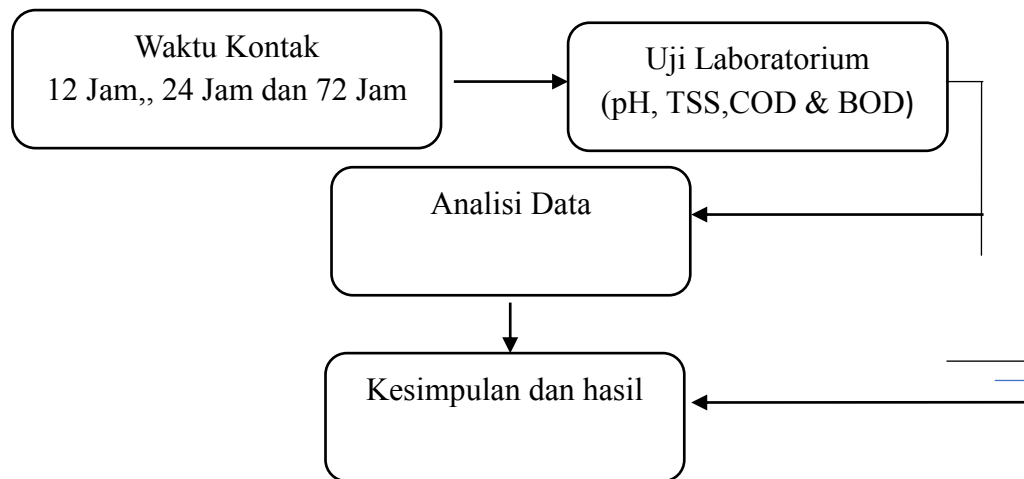
Keterangan:

- C_o = Konsentrasi awal
- C_t = Konsentrasi setelah perlakuan

3.7 Diagram Eksperimen

Diagram Penelitian dapat digambarkan sebagai berikut:





Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Efektivitas Penambahan *Eco-Enzyme* terhadap Penurunan Parameter Lindi.

Eco-enzyme berperan sebagai agen remediasi air lindi yang bersumber dari TPA Blang Bintang. Penambahan *eco-enzyme* berbahan dasar kulit jeruk dan kulit nanas dalam penelitian mampu menurunkan beberapa parameter kualitas air lindi di TPA Regional Blang Bintang. Parameter yang diamati meliputi derajat keasaman (pH), Total Suspended Solids (TSS), Chemical Oxygen Demand (COD), dan Biochemical Oxygen Demand (BOD). Sampel air lindi berasal dari kolam penampungan akhir Instalasi Pengolahan Air Lindi (IPAL) TPA Regional Blang Bintang. Perlakuan dilakukan menggunakan tiga variasi konsentrasi *eco-enzyme* yaitu 0%, 10%, 15%, dan 20% dengan waktu kontak selama 12 jam, 24 jam, dan 72 jam.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi penambahan *eco-enzyme*, semakin menurun parameter lindi yang di uji. Hasil pengamatan dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Nilai rata-rata penurunan parameter

Konsentrasi Eco-enzyme	pH	TSS	COD	BOD
10%	8,2	5.618	2.079	25,7
15%	8,2	5.484	2.134	21,4
20%	8,1	5.428	2.409	25,2

4.2 Pengaruh Variasi *eco-enzyme* terhadap penurunan parameter air lindi

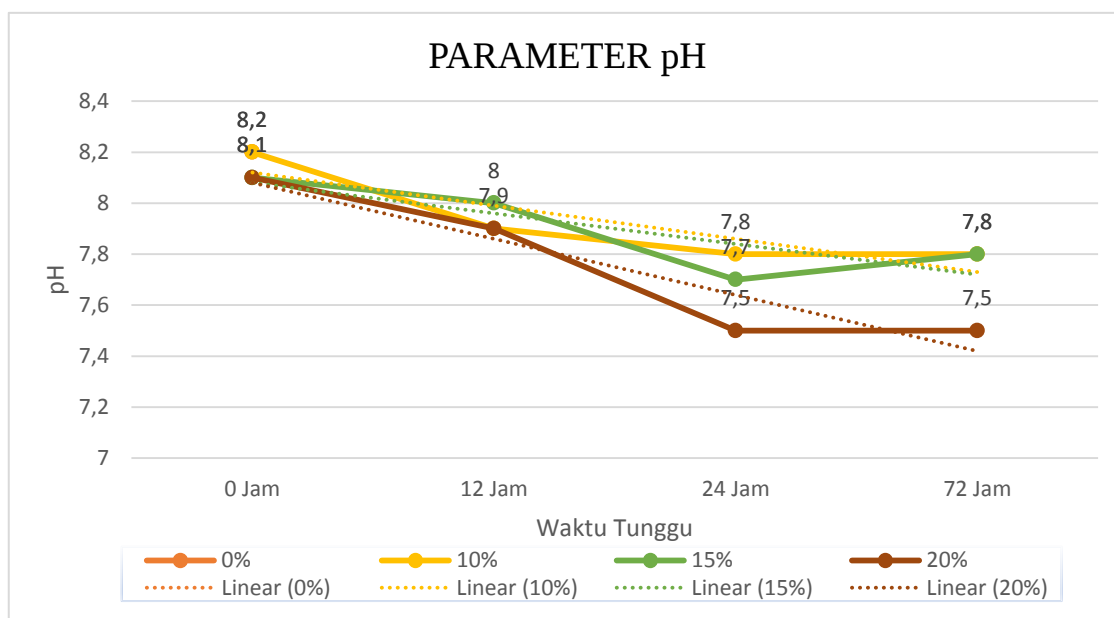
4.2.1 Hasil Pengujian pH

Pengukuran nilai pH air lindi dilakukan untuk mengamati stabilitas dan perubahan tingkat keasaman setelah diberikan perlakuan berupa penambahan *eco-enzyme*. Variasi perlakuan yang diuji meliputi tingkat konsentrasi (0%, 10%, 15%, dan 20%) serta durasi waktu kontak atau waktu tunggu (0 jam, 12 jam, 24 jam, dan 72 jam). Data hasil pengujian pH tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian pH Air Lindi Setelah Penambahan *Eco-Enzyme*

Konsentrasi/ Waktu Tunggu	0%	10%	15%	20%
0 Jam	8,2	8,2	8,2	8,1
12 Jam	-	7,9	8	7,9
24 Jam	-	7,8	7,7	7,5
72 Jam	-	7,8	7,9	7,6

Berdasarkan Tabel 4.2, dapat diketahui bahwa nilai pH awal air lindi sebelum adanya pengaruh waktu tunggu (0 jam) berada pada kondisi basa dengan kisaran nilai 8,1 hingga 8,2. Setelah dilakukan penambahan *eco-enzyme* dengan variasi konsentrasi 10%, 15%, dan 20%, terlihat adanya kecenderungan penurunan nilai pH seiring dengan bertambahnya durasi waktu tunggu. Selanjutnya dapat ditampilkan grafik perubahan nilai pH pada masing-masing variasi konsentrasi dan waktu kontak.



Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan *eco-enzyme* memberikan pengaruh terhadap perubahan nilai pH air lindi. Penurunan Laju nilai pH terlihat menurun dari 0 Jam sampai 24 jam pertama, namun di waktu 72 jam, nilai pH ada sedikit kenaikan, kecenderungan nilai pH mengalami perubahan menuju kondisi yang lebih mendekati baku mutu.

Penurunan nilai pH pada 24 jam pertama terjadi akibat masuknya asam-asam organik alami seperti asam sitrat dari fermentasi kulit jeruk serta asam asetat/laktat yang terkandung di dalam larutan *eco-enzyme*. Hal ini sejalan dengan penelitian Suryani & Fauzi (2024) yang menjelaskan bahwa penambahan *eco-enzyme* pada fase awal pencampuran akan menurunkan pH air limbah karena pelepasan konsentrasi asam organik hasil fermentasi. Temuan ini juga diperkuat oleh Yustiani et al. (2023) dan Molecules (2024) yang menyatakan bahwa kandungan asam sitrat dan limonen dari limbah kulit jeruk secara efektif berperan sebagai agen netralisasi untuk air limbah yang bersifat basa.

Selanjutnya, penstabilan nilai pH mendekati angka netral (7,6–7,9) pada waktu kontak 72 jam mengonfirmasi fungsi *eco-enzyme* sebagai *buffering agent* (Suryani & Fauzi, 2024). Aktivitas enzimatik dan mikroorganisme fungsional secara perlahan merombak asam organik volatil menjadi produk akhir yang lebih stabil, sehingga kondisi derajat keasaman air lindi tetap berada pada rentang aman baku mutu Permen LHK No. 59 Tahun 2016

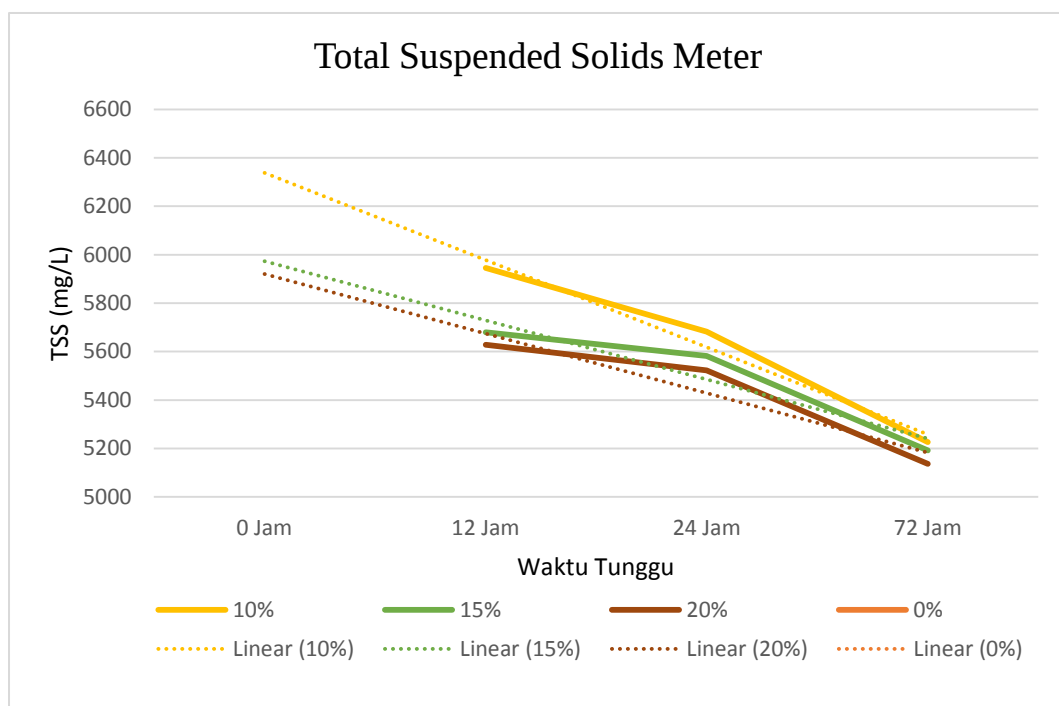
4.2.2 Hasil Pengujian TSS

Pengukuran kadar padatan tersuspensi atau Total Suspended Solids (TSS) dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi konsentrasi *eco-enzyme* (0%, 10%, 15%, dan 20%) serta durasi waktu kontak (0 jam, 12 jam, 24 jam, dan 72 jam) terhadap kualitas air lindi. Adapun data lengkap mengenai fluktuasi penurunan nilai kadar TSS dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian TSS Setelah Perlakuan

Konsentrasi/ Waktu Tunggu	0%	10%	15%	20%
0 Jam	6228	-	-	-
12 Jam	-	5946	5680	5628
24 Jam	-	5682	5582	5522
72 Jam	-	5226	5192	5136

Berdasarkan Tabel 4.3, diperoleh data hasil pengujian kadar *Total Suspended Solids* (TSS) pada air lindi setelah diberikan perlakuan penambahan *eco-enzyme*. Pada kondisi awal atau kontrol (0 jam), air lindi memiliki nilai TSS yang sangat tinggi, yaitu sebesar 6228 mg/L. Setelah diaplikasikan variasi konsentrasi *eco-enzyme* (10%, 15%, dan 20%) serta variasi waktu kontak (12 jam, 24 jam, dan 72 jam), terlihat adanya penurunan kadar TSS secara konsisten pada seluruh parameter uji. Selanjutnya dapat ditampilkan grafik perubahan nilai TSS pada masing-masing variasi konsentrasi dan waktu kontak.



Gambar 4.2 Grafik Perubahan Nilai TSS

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *eco-enzyme* mampu menurunkan kadar Total Suspended Solids (TSS) pada air lindi. Penurunan TSS diduga disebabkan aktivitas enzim protease, lipase, dan amilase yang membantu menguraikan partikel-partikel organik menjadi ukuran yang lebih kecil sehingga lebih mudah mengendap Galintin *et al.* (2021). Selain itu terbentuk flok-flok kecil yang menyebabkan padatan tersuspensi mengalami sedimentasi. Apabila dibandingkan antar perlakuan, konsentrasi 20 % dengan waktu tunggu 72 jam memberikan penurunan TSS paling besar, namun penurunan nilai TSS yang paling signifikan terjadi pada 12 jam pertama, penurunan terbesar terjadi di konsentrasi 20% dengan waktu tunggu 12 Jam dengan penurunan dari 6118 mg/l turun ke 5628 mg/l (8,01%)

Mekanisme penurunan TSS disebabkan oleh kerja enzim pencernaan seperti protease (bromelin dari kulit nanas) dan lipase yang mendegradasi makromolekul organik tersuspensi serta memicu pembentukan flok-flok halus yang mempermudah proses sedimentasi (pengendapan). Hasil ini mendukung temuan Galintin *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa *eco-enzyme* mampu meningkatkan proses pengendapan padatan tersuspensi pada limbah cair melalui destruksi partikel organik secara hidrolisis. Teori ini juga didukung oleh Saptarini (2023) yang mengemukakan bahwa enzim bromelin dari kulit nanas memiliki efektivitas tinggi sebagai bio-koagulan alami dalam mengikat padatan tersuspensi.

Meskipun demikian, persentase penurunan TSS dalam penelitian ini tergolong terbatas (16%–17,5%) dan belum mampu mencapai threshold baku mutu (100 mg/L). Hal ini sejalan dengan kajian Khadaroo *et al.* (2019) dan Azanaw *et al.* (2022) yang menjelaskan fenomena *saturasi enzim*. Dosis enzim yang sangat tinggi atau waktu kontak yang panjang dapat menimbulkan interaksi antar-molekul enzim yang berlebihan sehingga membatasi aktivitas katalitiknya dalam mengendapkan seluruh partikel halus tersuspensi.

4.2.3 Hasil Pengujian COD

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan salah satu parameter krusial dalam analisis kualitas air limbah yang menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. Nilai COD yang tinggi pada air lindi mengindikasikan tingginya kandungan polutan organik berbahaya yang dapat mencemari lingkungan jika tidak ditangani dengan tepat. Oleh karena itu, pengaplikasian *eco-enzyme* sebagai agen bioremediasi diharapkan mampu mendegradasi kandungan zat organik tersebut melalui aktivitas enzimatisnya, sehingga dapat menurunkan beban pencemaran pada air lindi.

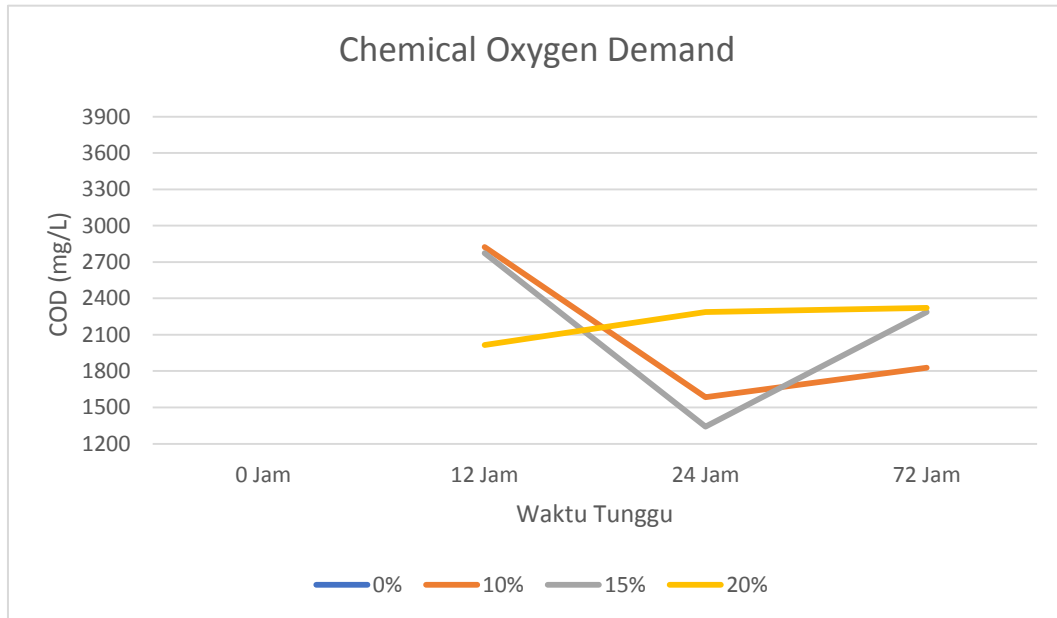
Pengukuran kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi tingkat konsentrasi *eco-enzyme* (0%, 10%, 15%, dan 20%) serta durasi waktu tunggu (0 jam, 12 jam, 24 jam, dan 72 jam) terhadap penurunan senyawa organik di dalam air lindi. Fluktuasi nilai COD yang diperoleh selama masa pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian COD Setelah Perlakuan

Konsentrasi/ Waktu Tunggu	0%	10%	15%	20%
0 Jam	3231	-	-	-
12 Jam	-	2825	2773	2.016
24 Jam	-	1585	1342	2.288
72 Jam	-	1827	2287	2.323

Berdasarkan Tabel 4.4, diperoleh data hasil pengujian kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada air lindi setelah diberikan perlakuan penambahan *eco-enzyme*. Pada kondisi awal (0 jam), air lindi kontrol menunjukkan beban polutan organik kimiawi yang sangat tinggi, yaitu sebesar 3231 mg/L. Setelah diaplikasikan variasi perlakuan, terlihat adanya fluktuasi penurunan nilai COD yang cukup signifikan, di mana titik operasional optimum dicapai pada penambahan konsentrasi *eco-enzyme* 15% dengan durasi waktu kontak

selama 24 jam, yang mampu mereduksi kadar COD hingga menyentuh angka terendah sebesar 1342 mg/L.



Gambar 4.3 Grafik Paramter penurunan COD

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwa nilai COD mengalami penurunan setelah dilakukan penambahan *eco-enzyme*. Penurunan COD menunjukkan berkurangnya jumlah senyawa organik yang dapat dioksidasi secara kimia. Aktivitas enzim pada *eco-enzyme* mempercepat degradasi senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana sehingga beban organik dalam air lindi berkurang. Semakin lama waktu kontak, proses biodegradasi berlangsung semakin optimal sehingga nilai COD cenderung menurun.

Penurunan nilai COD secara signifikan pada kondisi optimum (15%, 24 jam) sejalan dengan hasil penelitian Rasyidah & Nasution (2024) serta Marlina et al. (2023). Enzim hidrolitik di dalam *eco-enzyme* bertindak sebagai biokatalis yang memutus ikatan kimia kompleks pada senyawa organik terlarut air lindi menjadi rantai yang lebih sederhana, sehingga beban pencemaran kimiawi berkurang drastis.

Adapun fenomena kenaikan (*rebound*) nilai COD pada dosis tinggi (20%) maupun waktu kontak yang terlalu lama (72 jam) secara tepat mengonfirmasi

fenomena *double-edged sword* yang dipaparkan oleh Suryani & Fauzi (2024) serta penelitian Tilana & Widyastuti (2024) dan Yustiani et al. (2023). *Eco-enzyme* itu sendiri merupakan ekstrak cairan organik hasil fermentasi yang kaya akan karbon terlarut. Jika dosis yang diberikan melebihi kapasitas optimum atau didiamkan terlalu lama, sisa substrat organik un-degraded dari *eco-enzyme* justru berbalik menyumbang materi organik baru (*organic overloading*) ke dalam air lindi, sehingga nilai COD kembali meningkat.

4.2.4 Hasil Pengujian BOD

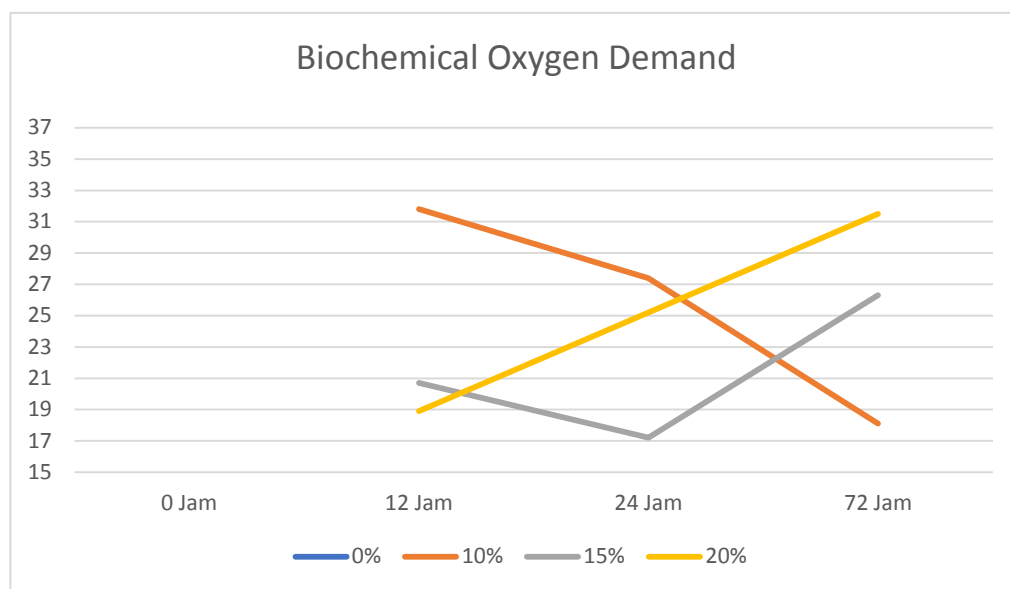
Biochemical Oxygen Demand (BOD) merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengukur jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik yang terkandung di dalam air limbah secara biologi. Pengujian nilai BOD pada air lindi sangat penting dilakukan guna mengetahui sejauh mana tingkat pencemaran bahan organik yang bersifat *biodegradable* (dapat terurai secara alami). Penambahan *eco-enzyme* yang kaya akan enzim fungsional diharapkan mampu mempercepat proses biodegradasi senyawa-senyawa organik kompleks tersebut, sehingga beban pencemaran biologis pada air lindi dapat diminimalisir secara efektif.

Pengukuran kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi tingkat konsentrasi *eco-enzyme* (0%, 10%, 15%, dan 20%) serta durasi waktu tunggu (0 jam, 12 jam, 24 jam, dan 72 jam) terhadap fluktuasi penurunan bahan organik di dalam air lindi. Data lengkap hasil pengujian parameter BOD setelah diberikan perlakuan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian BOD Setelah Perlakuan

Konsentrasi/ Waktu tunggu	0%	10%	15%	20%
0 Jam	35,8	-	-	-
12 Jam	-	31,8	20,7	18,9
24 Jam	-	27,4	17,2	25,2
72 Jam	-	18,1	26,3	31,5

Berdasarkan Tabel 4.5, didapatkan data hasil pengujian parameter *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) pada air lindi setelah diberikan perlakuan penambahan *eco-enzyme*. Pada kondisi kontrol tanpa perlakuan (0 jam), air lindi memiliki nilai BOD awal sebesar 35,8 mg/L. Setelah pencampuran *eco-enzyme* dengan berbagai variasi konsentrasi dan waktu tunggu, terlihat adanya kecenderungan penurunan nilai BOD secara signifikan pada 12 hingga 24 jam pertama. Titik operasional terbaik untuk reduksi parameter ini dicapai oleh perlakuan konsentrasi *eco-enzyme* 15% dengan waktu kontak 24 jam yang mampu menurunkan kadar BOD secara optimal hingga mencapai angka terendah yaitu 17,2 mg/L



Gambar 4.4 Grafik penurunan parameter BOD

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai BOD mengalami penurunan setelah penambahan *eco-enzyme*. Penurunan nilai BOD menunjukkan bahwa jumlah bahan organik yang mudah terurai secara biologis semakin berkurang. Hal ini terjadi karena sebagian bahan organik telah didegradasi oleh aktivitas enzim selama proses perlakuan. Perlakuan dengan konsentrasi 15 % dan waktu kontak 24 jam memberikan hasil penurunan BOD terbaik dibandingkan perlakuan lainnya.

Penurunan kadar BOD mengindikasikan berkurangnya fraksi bahan organik yang mudah terurai secara biologis (*biodegradable organic matter*) karena telah dirombak oleh sinergi enzimatik selama 24 jam pertama. Temuan ini

mendukung hasil penelitian Syamsuddin Saebu et al. dan Rasyidah & Nasution (2024) yang menunjukkan bahwa *eco-enzyme* efektif mengatalisis perombakan materi biologis pada air lindi TPA.

Sementara itu, lonjakan nilai BOD pada waktu kontak 72 jam sesuai dengan temuan Tilana & Widyastuti (2024). Setelah masa optimum biodegradasi terlampaui, massa mikroorganisme dan sisa komponen organik kompleks dari cairan *eco-enzyme* yang terakumulasi akan membutuhkan oksigen terlarut lebih banyak untuk proses respirasi/dekomposisi biologis, yang pada akhirnya menaikkan kembali angka BOD larutan.

4.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Eco-Enzyme

Berdasarkan seluruh hasil pengujian dapat diketahui bahwa variasi konsentrasi *eco-enzyme* memberikan pengaruh terhadap perubahan kualitas air lindi. Semakin tinggi konsentrasi *eco-enzyme*, efektivitas penurunan parameter pencemar cenderung meningkat hingga mencapai konsentrasi optimum. Namun apabila konsentrasi terlalu tinggi, kemungkinan efektivitas dapat menurun akibat meningkatnya kandungan organik dari *eco-enzyme* itu sendiri.

4.4 Pengaruh Waktu Tinggal

Waktu kontak merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi proses pengolahan menggunakan *eco-enzyme*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan waktu kontak memberikan kesempatan lebih lama bagi aktivitas enzim dalam menguraikan bahan organik sehingga nilai pH, TSS, COD, dan BOD mengalami perubahan yang lebih baik. Perlakuan dengan waktu tnggu 24 jam menghasilkan efisiensi penurunan terbaik dibandingkan waktu kontak lainnya.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan mengenai pengaruh penambahan *eco-enzyme* berbasis kulit jeruk dan nanas terhadap penurunan beberapa parameter limbah air lindi di TPA Regional Blang Bintang, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan *eco-enzyme* terbukti memiliki efektivitas yang dinamis dalam menurunkan beban pencemar pada air lindi TPA Regional Blang Bintang, yang pada kondisi awal (sebelum perlakuan) memiliki karakteristik polutan kompleks dengan nilai pH sebesar 8,1, COD sebesar 445 mg/L, dan TSS sebesar 6.228 mg/L. Sinergi antara enzim protease (bromelin) dari kulit nanas serta asam sitrat dari kulit jeruk terbukti mampu mendegradasi partikel organik dan mengendapkan padatan tersuspensi melalui mekanisme biokatalisis.
2. Variasi persentase (dosis) penambahan *eco-enzyme* sangat memengaruhi tingkat efektivitas penyisihan polutan, di mana terdapat titik konsentrasi optimum yang memberikan penurunan parameter kualitas air lindi secara paling signifikan. Pemberian dosis yang terlalu rendah kurang efektif karena jumlah konsentrasi enzim tidak mencukupi untuk menguraikan seluruh partikel tersuspensi. Sebaliknya, pemberian dosis yang melebihi batas optimum justru memicu fenomena saturasi enzim serta menambah beban organik baru ke dalam air lindi, sehingga efektivitas penurunan TSS menurun dan nilai COD/BOD berisiko mengalami peningkatan akibat karakteristik alami *eco-enzyme* yang juga kaya akan materi organik.
3. Variasi waktu tinggal (waktu kontak) memberikan pengaruh yang krusial terhadap stabilitas fluktuasi nilai parameter, khususnya pada derajat keasaman (pH) dan pengendapan padatan. Pada fase awal pencampuran, penambahan *eco-enzyme* menyebabkan penurunan nilai pH secara instan karena kandungan asam-asam organik alami (seperti asam asetat dan asam laktat) di dalamnya. Namun, seiring bertambahnya waktu tinggal, nilai pH

mengalami stabilisasi atau bergerak kembali menuju kondisi netral yang memenuhi baku mutu karena *eco-enzyme* berfungsi sebagai *buffering agent*. Selain itu, waktu kontak yang memadai memberikan kesempatan bagi enzim untuk membentuk flok-flok kecil yang memaksimalkan penurunan kadar TSS serta mengoptimalkan biodegradasi senyawa kompleks menjadi lebih sederhana dan stabil.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh serta keterbatasan selama pelaksanaan eksperimen, beberapa saran yang dapat direkomendasikan adalah sebagai berikut:

1. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk melakukan pengujian dengan rentang variasi dosis yang lebih banyak dan waktu tinggal yang lebih lama sehingga kita dapat melihat potensi *eco enzyme* dalam menurunkan parameter TSS, COD dan BOD, mengingat karakteristik cairan *eco-enzyme* non-komersial cenderung bervariasi dan belum terstandarisasi.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan yang mengombinasikan penambahan *eco-enzyme* dengan metode pengolahan fisik atau biologi lainnya (seperti filtrasi, koagulasi-flokulasi kimiawi, atau fitoremediasi) untuk memastikan seluruh parameter akhir (terutama COD, BOD, dan TSS) secara konsisten dapat diturunkan hingga sepenuhnya memenuhi baku mutu lingkungan yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri LHK No. 59 Tahun 2016.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiani, K., & Mirwan, M. (2024). Analisis kualitas air limbah domestik perkantoran berdasarkan parameter COD, amonia, dan TSS. *Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi (Scientica)*, 2(7), 55–64.
- Akhir, T., & Nurdianti, S. (2023). Pemanfaatan kulit jeruk (*Citrus sinensis*) dalam penyerapan logam timbal (Pb) pada limbah cair batik. *Jurnal Lingkungan dan Teknologi*, 8(2), 101–110.
- Ananda, P. R., & Ismail, A. (2016). Pengaruh pemberian tawas dengan dosis bertingkat dalam pakan selama 30 hari terhadap gambaran histopatologi hepar tikus wistar. *Jurnal Kedokteran Diponegoro*, 5(3), 210–221.
- Anindita, A. R., & Wikaningrum, T. (2023). The study of eco-enzymes application for decoloring textile industry wastewater following by pH value analysis. *Journal of Environmental Engineering and Waste Management*, 8(1), 16–31.
- Azanaw, A., Birlie, B., Teshome, B., & Jemberie, M. (2022). Textile effluent treatment methods and eco-friendly resolution of textile wastewater. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, Artikel 100230.
- Dina, A., Kurniawan, N. M., Azizah, A. A., & Setianingsih, A. A. (2022). Adsorption of heavy metal chromium (Cr) using pineapple skin filtrate with the chelation method. *Journal of Environmental Chemistry*, 1(7), 1373–1382.
- Christensen, T. H., Jensen, M. B., & Bjerg, P. L. (2001). *Biogeochemistry of landfill leachate plumes*. *Applied Geochemistry*, 16(7–8), 659–718. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(01\)00007-0](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(01)00007-0)
- Galintin, O., Rasit, N., & Hamzah, S. (2021). Production and characterization of eco enzyme produced from fruit and vegetable wastes and its influence on the aquaculture sludge. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(3), 10205–10214. *(Catatan: Entri yang ganda telah disatukan)*

- Harahap, M. R., Amanda, L. D., & Matondang, A. H. (2020). Analisis kadar COD (Chemical Oxygen Demand) dan TSS (Total Suspended Solid) pada limbah cair dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. *AMINA*, 2(2), 79–83.
- Hasanah, Y. (2020). Eco-enzyme and its benefits for organic rice production and disinfectant. *Journal of Saintech Transfer*, 3(2), 119–128.
- Khadaroo, S. N. B. A., Poh, P. E., Gouwanda, D., & Grassia, P. (2019). Applicability of various pretreatment techniques to enhance the anaerobic digestion of palm oil mill effluent (POME): A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(5), Artikel 103310.
- Kholifah, R. A. N., Suprayogi, D., Auvaria, S. W., & Agustina, E. (2025). Analisis kualitas air bersih dari berbagai sumber di Laboratorium PT X. *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 7(3), 2160–2169.
- Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., & Christensen, T. H. (2002). *Present and long-term composition of MSW landfill leachate: A review*. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32(4), 297–336. <https://doi.org/10.1080/10643380290813462>
- Kurniawati, D., Kholidah, F., Negarawati, R. G. M., Febriyanti, V. D., & Radianto, D. O. (2024). Pengelolaan limbah sampah rumah tangga sebagai upaya pelestarian lingkungan hidup. *Jurnal Wilayah, Kota dan Lingkungan Berkelanjutan (JWIKAL)*, 3(1), 72–83.
- Marlina, E., dkk. (2023). Efektivitas pemberian eco-enzyme dalam menurunkan kadar COD dan mengubah pH pada limbah cair domestik. *Jurnal Teknologi Lingkungan Industri*, 5(2), 88–95.
- Molecules. (2024). *Effects of enzymatic pretreatment on yield and volatile composition of citrus peel essential oils*. 31(4), 657
- Pangesti, A. T. (2022). Potensi filtrat buah nanas dalam penurunan logam berat timbal (Pb) pada ikan toman. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 5(1), 45–54.

- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Sekretariat Negara..
- Rasyidah, A., & Nasution, M. (2024). Analysis and potential of eco-enzyme from several types of fruit peels in leachate remediation. *Jurnal Bioteknologi dan Biosains Indonesia (JBBI)*, 11(2), 123–132.
- Renou, S., Givaudan, J. G., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). *Landfill leachate treatment: Review and opportunity. Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 468–493
- Suryani, I., & Fauzi, A. (2024). The double-edged sword of eco-enzyme: Analysis of COD and pH variations in wastewater treatment. *International Journal of Environmental Science and Engineering*, 12(1), 45–52.
- Tilana, R., & Widyastuti, S. (2024). Penurunan E. coli pada air lindi TPA Benowo menggunakan eco enzim. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan*, 6(1), 45–54.
- Viareco, H., Yanova, S., Jalius, Naswir, M., Dewi, N. S., Mutmainnah, E., Ziadah, B. S., Khatamsi, M., Putri, P. A., Zahra, K. L., Wahyuni, D. S., Meduripa, H. F., & Iskandar, J. (2025). Analysis of the effect of wastewater quality on the effectiveness of eco-enzyme. *Journal of Community Based Environmental Engineering and Management*, 9(1), 41–52.
- Widyastuti, S., Sutrisno, J., Wiyarno, Y., Gunawan, W., & Nurhayati, I. (2023). Eco enzim untuk pengolahan air limbah tahu. *Jurnal WAKTU*, 21(2), 51–59.
- Yustiani, Y. M., Nugroho, F. L., Murtadho, F. Z., & Djayadisastra, A. T. (2023). Use of eco enzyme to reduce the chemical oxygen demand of synthetic river water. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 55(1), 91–97

LAMPIRAN

Kondisi di TPA Blang Bintang



Halaman Depan TPA Balng Bintang



Lokasi Kolam penampungan Awal



Pembatas antar kolam Penampungan



Kolan Akhir tempat pengambilan sampel

Proses perlakuan dengan penambahan *Eco enzyme*



Wadah air lindi 1500 ml



wadah sampel 200 ml



Proses penakaran *eco enzyme*



sampel di diamkan sesuairi waktu tinggal