

TUGAS AKHIR

**PENGAPLIKASIAN *ECO-ENZYME* UNTUK
MENURUNKAN KADAR Pb DALAM PENGOLAHAN
AIR LIMBAH LABORATORIUM KUALITAS
LINGKUNGAN UII**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**Febrianti Kartika Chandra
20513253**

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TUGAS AKHIR

PENGAPLIKASIAN *ECO-ENZYME* UNTUK MENURUNKAN KADAR Pb DALAM PENGOLAHAN AIR LIMBAH LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN UII

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan**



**Febrianti Kartika Chandra
20513253**

Disetujui,
Dosen Pembimbing:



Ir. Eko Sisworo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D.
NIK. 025100406

Tanggal: 23 Desember 2024

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP
UII



Any Juliani, S.T., M.Sc (Res.Eng.), Ph.D.
NIK. 045130401

Tanggal: 23 Desember 2024

HALAMAN PENGESAHAN
PENGAPLIKASIAN *ECO-ENZYME* UNTUK MENURUNKAN
KADAR Pb DALAM PENGOLAHAN AIR LIMBAH
LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN UII

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : **Senin**

Tanggal : **23 Desember 2024**

Disusun Oleh:

Febrianti Kartika Chandra

20513253

Tim Penguji:

Ir. Eko Siswono, S.T., M.Sc,ES., Ph.D.

Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph. D.

Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta,

Yang membuat pernyataan,



Febrianti Kartika Chandra

NIM: 20513253

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul “**Pengaplikasian *Eco-enzyme* Untuk Menurunkan Kadar Pb Dalam Pengolahan Air Limbah Laboratorium Kualitas Lingkungan UII**” ini dapat terselesaikan.

Penyusunan laporan ini diajukan sebagai salah satu syarat kelulusan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Sebagai penulis, tidak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dan membantu kami selama kerja praktik dan penyusunan laporan, antara lain kepada :

1. Allah SWT atas segala karunia dan kemudahan yang telah diberikan sehingga kami dapat menyelesaikan laporan kerja praktik ini.
2. Kedua orang tua saya yang selalu memberikan dukungan dan doa serta semangat.
3. Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII Yogyakarta.
4. Adam Rus Nugroho, S.T., M.T., Ph.D. selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII .
5. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah membantu dan memberikan arahan serta masukan kepada terhadap penulis sejak penulisan proposal tugas akhir hingga tugas akhir ini selesai.
6. Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph. D. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran serta arahan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran serta arahan kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Saudara saya Dwi Wahyu Nugroho yang sudah memberikan banyak dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
9. Keluarga besar saya yang sudah memberikan banyak dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Teman-teman saya yang memberikan banyak dukungan Intan Nuraeni, Rahmatia Due, Puja Puteri Chantika, Laila Anis Tajkia, Yolan Cici Sapiyah, Anjeli Putri, Adfira Restiyana Putri, Nida Kamalia, Verda Putri Cantika, Fachra Syifa’aa R, Isna, dan Intan Dewi, beserta teman saya lainnya yang tidak dapat saya sebutkan namanya.

Penulis masih menyadari Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna

dan masih banyak kekurangan. Oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan penulis untuk menyempurnakan laporan ini. Semoga Laporan Tugas Akhir ini juga dapat bermanfaat untuk kedepannya.

Yogyakarta, 23 Desember 2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Chandra', with a horizontal line underneath it.

Febrianti Kartika Chandra

ABSTRACT

Laboratory liquid waste is the result of practical activities and research conducted in the laboratory. One of the heavy metals that can pollute the aquatic environment is lead (Pb). Lead (Pb) is a carcinogenic heavy metal that can pollute the aquatic environment, soil, air, animals, plants, and humans. The purpose of this study was to test the most efficient dose of eco-enzyme and determine the most effective dose of mixing eco-enzyme from pineapple peel and orange peel in reducing the levels of laboratory wastewater pollutants for Pb parameters. The eco-enzymes used in this study were orange peel and pineapple peel waste. The large amount of waste in the surrounding environment needs to be utilized as an eco-enzyme product in order to minimize waste discharged into the environment. This test was carried out by mixing eco-enzyme and laboratory wastewater with an initial concentration of Pb metal of 7.477 mg/L into a reactor of 10%, 5%, and 2.5% of the total wastewater. From the results of this test, it was found that on the 5th day for eco-enzyme with a concentration of 10%, the concentration of heavy metal Pb was 0.005 mg/L, then with a concentration of 5% it had a concentration value less than the LOD (0,636), and at a concentration of 2.5% it had a concentration value less than the LOD (0,636). From the test results obtained with different concentrations of eco-enzyme used to reduce the levels of heavy metal Pb, the most effective results were obtained with an eco-enzyme content of 5% of the total laboratory wastewater of 950 ml, and eco-enzyme 50 ml.

Keywords: *Eco-enzyme, Laboratory Waste, Pb Heavy Metal, Pollution*

ABSTRAK

Limbah cair laboratorium merupakan hasil dari aktivitas praktikum dan penelitian yang dilakukan di laboratorium. Salah satu logam berat yang dapat mencemari lingkungan perairan adalah timbal (Pb). Timbal (Pb) adalah logam berat yang bersifat karsinogenik yang dapat mencemari lingkungan air, tanah, udara, hewan, tumbuhan, dan manusia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji dosis eco-enzyme yang paling efisien dan menentukan dosis pencampuran eco-enzyme yang paling efektif dari kulit buah nenas dan kulit buah jeruk dalam penurunan kadar pencemar air limbah laboratorium untuk parameter Pb. Eco-enzyme yang digunakan pada penelitian ini, yaitu limbah kulit jeruk dan kulit nenas. Banyaknya limbah tersebut di lingkungan sekitar sehingga perlu dimanfaatkan sebagai produk eco-enzyme agar dapat meminimalisir limbah yang dibuang ke lingkungan. Pengujian ini dilakukan dengan mencampurkan eco-enzyme dan air limbah laboratorium dengan konsentrasi awal logam Pb sebesar 7,477 mg/L ke dalam reaktor sebanyak 10%, 5%, dan 2,5% dari total air limbah. Dari hasil pengujian ini, didapatkan bahwa pada hari ke-5 untuk eco-enzyme dengan kadar 10% didapatkan konsentrasi pada logam berat Pb sebesar 0,005 mg/L, kemudian dengan kadar 5% memiliki nilai konsentrasi kurang dari LOD (0,636), dan pada kadar 2,5% didapatkan nilai konsentrasi kurang dari LOD (0,636). Dari hasil pengujian yang didapatkan dengan perbedaan konsentrasi eco-enzyme yang digunakan untuk menurunkan kadar logam berat Pb, diperoleh hasil yang paling efektif dengan kadar eco-enzyme sebesar 5% dari total air limbah laboratorium 950 ml, dan eco-enzyme 50 ml.

Kata Kunci: Eco-enzyme, Limbah Laboratorium, Logam berat Pb, Pencemaran

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
ABSTRATC	1
ABSTRAK	2
DAFTAR ISI.....	3
DAFTAR TABEL.....	5
DAFTAR GAMBAR.....	6
DAFTAR LAMPIRAN	7
BAB I.....	8
PENDAHULUAN.....	8
1.1 Latar Belakang	8
1.2 Rumusan Masalah.....	9
1.3 Tujuan Penelitian	9
1.4 Manfaat Penelitian	9
1.5 Ruang Lingkup	10
BAB II	11
TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Air limbah Laboratorium	11
2.2 Parameter Kualitas Air.....	11
2.2.1 Pb	11
2.3 Eco-enzyme	12
2.4 Adsorpsi	13
2.5 Baku Mutu Air Limbah Laboratorium.....	13
2.6 Waktu Pengujian.....	13
2.7 Analisis Data	14
BAB III.....	15
METODE PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	16
3.2 Alat dan Bahan	16
3.3 Prosedur Analisis Data.....	17
3.3.1 Studi Literatur	18
3.3.2 Variabel Penelitian	18
3.3.3 Pembuatan Eco-enzyme	18
3.3.4 Pencampuran Eco-enzyme ke dalam Sampel Air Limbah Laboratorium.....	20

3.3.5 Uji Laboratorium	20
3.4 Analisis Data	22
BAB IV	23
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Karakteristik Limbah Laboratorium	23
4.2 Karakteristik Eco-enzyme	23
4.3 Tingkat Penurunan Pb.....	29
4.3.1 Uji Removal Logam Berat Pb	32
BAB V.....	38
KESIMPULAN.....	38
5.1 Kesimpulan	38
LAMPIRAN.....	43

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil Uji Removal Pb 10%.....	33
Tabel 4. 2 Hasil Uji Removal Pb 5%	34
Tabel 4. 3 Hasil Uji Removal Pb 2,5%.....	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Prosedur Analisis Data	17
Gambar 4. 1	Gas yang Terbentuk Selama Proses Fermentasi	24
Gambar 4. 2	Perubahan Warna Eco-enzyme Minggu Ke 1-4.....	26
Gambar 4. 3	Perubahan Warna Eco-enzyme Minggu ke-5.....	27
Gambar 4. 4	Perubahan Warna Eco-enzyme Minggu ke 6-11.....	28
Gambar 4. 5	Pengambilan Eco-enzyme.....	29
Gambar 4. 6	Pengujian Hari ke-0 (10%, 5%, dan 2,5%)	30
Gambar 4. 7	Pengujian Hari ke-1 (10%, 5%, dan 2,5%)	30
Gambar 4. 8	Pengujian Hari ke-2 (10%, 5%, dan 2,5%)	31
Gambar 4. 9	Pengujian Hari ke-3 (10%, 5%, dan 2,5%)	31
Gambar 4. 10	Pengujian Hari ke-4 (10%, 5%, dan 2,5%)	32
Gambar 4. 11	Pengujian Hari ke-5 (10 %, 5%, dan 2,5%)	32
Gambar 4. 12	Grafik Konsentrasi Pb 10%	33
Gambar 4. 13	Grafik Presentase Removal Pb 10%.....	34
Gambar 4. 14	Grafik Konsentrasi Pb 5%	35
Gambar 4. 15	Grafik Presentase Removal Pb 5%.....	35
Gambar 4. 16	Grafik Konsentrasi Pb 2,5%	36
Gambar 4. 17	Grafik Presentase Removal Pb 2,5%.....	37

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Penyaringan Limbah Laboratorium	43
Lampiran 2 Pengukuran pH hari ke-0.....	44
Lampiran 3 Pengukuran pH hari ke-1.....	44
Lampiran 4 Pengukuran pH hari ke-2.....	44
Lampiran 5 Pengukuran pH hari ke-3.....	45
Lampiran 6 Pengukuran pH hari ke-4.....	45
Lampiran 7 Pengukuran pH hari ke-5.....	46
Lampiran 8 Penyaringan setelah destruksi.....	46
Lampiran 9 Dihomogenkan setelah destruksi.....	47
Lampiran 10 Pembacaan AAS.....	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah cair laboratorium merupakan hasil kegiatan praktik laboratorium dan penelitian. Meskipun jumlah limbah yang dihasilkan di laboratorium tidak sebanyak yang dihasilkan pada kegiatan industri, namun komposisi pencemarnya berbeda-beda dan mengandung unsur yang sangat berbahaya. Unsur-unsur berbahaya yang terdapat pada limbah cair laboratorium antara lain logam berat seperti timbal (Pb), besi (Fe), dan merkuri (Hg). Ada juga efek padatan terlarut (TDS), amonia (NH₃), dan keasaman (pH) (Oktavia, 2021).

Salah satu logam berat yang dapat mencemari lingkungan perairan adalah timbal (Pb). Limbah yang mengandung Pb dapat menyebabkan jalur perairan menjadi tercemar (Utari, 2022). Timbal (Pb) adalah logam berat yang bersifat karsinogenik yang dapat mencemari lingkungan air, tanah, udara, hewan, tumbuhan, dan manusia (Salindra et al., 2021). Logam berat Pb secara alamiah dapat masuk ke dalam badan perairan melalui air hujan. Akibat dari aktivitas manusia logam Pb masuk ke dalam badan perairan menjadi air buangan atau limbah (Budiastuti et al., 2016).

Eco-enzyme yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari limbah kulit jeruk dan nanas. Karena banyaknya sampah di lingkungan, maka sebaiknya digunakan sebagai produk *eco-enzyme* untuk meminimalkan jumlah sampah yang dibuang ke lingkungan. Kulit jeruk mengandung vitamin C, minyak atsiri, dan pektin. Sebaliknya, kulit nanas mengandung vitamin C dan enzim bromelain. *Eco-enzyme* yang terdapat pada limbah kulit jeruk dan nanas menghasilkan enzim polihidrolitik seperti amilase, protease, dan lipase yang dapat mendegradasi air limbah (Gaspersz & Fitrihidajati, 2022). Pada *eco-enzyme* limbahampas jeruk berperan untuk pengikat logam berat. Hal tersebut dapat dilihat jika ampas buah jeruk mengandung senyawa pektin yang memiliki manfaat sebagai pengikat timbal (Pb) yang dapat mengakibatkan efek berbahaya bagi manusia. Sedangkan menurut Robinson, (1991) pada ampas jeruk terdapat kandungan bahan aktif seperti tannin, saponin, flavonoid, dan alkaloid yang dapat memberi efek antibakteri (Yuliana & Handayani, 2022).

Pengolahan limbah logam yang paling efisien dan ramah lingkungan adalah dengan *eco-enzyme*. Untuk mengolah Pb, *eco-enzyme* sendiri dapat digunakan. Prosesnya dimulai

dengan menambahkan *eco-enzyme* ke dalam limbah dan kemudian dibiarkan bereaksi dengan logam dalam limbah untuk membentuk kompleks, yang membantu mengurangi konsentrasi Pb dalam limbah. Jika tidak ditangani dengan benar, timbal (Pb) seringkali berbahaya dan membahayakan lingkungan. Polutan berbahaya dari udara dipecahkan dan dibersihkan dengan menggunakan bahan kimia biodegradable yang disebut enzim ramah lingkungan. Timbal (Pb) dapat diuraikan dan dibersihkan dengan enzim lingkungan sebelum memiliki dampak negatif pada lingkungan (Benny et al., 2023).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapa dosis *eco-enzyme* kulit nanas dan kulit jeruk yang paling efisien dalam menurunkan parameter Pb air limbah laboratorium?
2. Pada hari ke berapa dosis yang paling efisien dalam menurunkan parameter Pb air limbah laboratorium dengan pencampuran *eco-enzyme*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menguji dosis *eco-enzyme* dari kulit nanas dan kulit jeruk yang paling efisien untuk penurunan kadar pencemar air limbah laboratorium pada parameter Pb.
2. Menentukan dosis campuran *eco-enzyme* yang paling efektif untuk penurunan kadar pencemar air limbah laboratorium pada parameter Pb.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian diatas, maka manfaat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat membantu bagi perkembangan ilmu teknologi dan pengetahuan mengenai pengolahan air limbah dan rekayasa teknologi.
2. Dapat menjadi ide rekayasa dasar yang dapat dikembangkan oleh masyarakat.
3. Dapat menambah wawasan dan mengembangkan kreativitas dibidang teknik lingkungan dan kualitas air.

1.5 Ruang Lingkup

Batasan dan Ruang lingkup dari penelitian ini adalah:

1. Air Limbah Laboratorium. Jenis limbah yang digunakan pada penelitian ini adalah air limbah yang mengandung Timbal.
2. Sampah Organik. Jenis sampah organik yang digunakan dalam produksi *eco enzyme* adalah nanas dan jeruk yang masing-masing memiliki komposisi dan berat.
3. Fermentasi. Proses fermentasi digunakan untuk produksi *eco enzyme* dan penerapan *eco enzyme* pada sampel air limbah laboratorium.
4. Analisis Sampel.

Dua analisis sampel dilakukan sebagai berikut.

- a. Analisis Sampel Air Limbah Laboratorium.

Melakukan analisis terhadap sampel uji yang telah diaplikasikan *eco-enzyme* selama 5 hari yang dilakukan secara berkala yakni pada hari ke 0,1,2,3,4, dan 5.

- b. Analisis Sampel Eco-Enzyme.

Melakukan analisis terhadap sampel *eco-enzyme* yang telah melalui proses fermentasi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air limbah Laboratorium

Menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, limbah B3 memiliki karakteristik mudah meledak, mudah menyala, reaktif, korosif, dan beracun. Limbah cair laboratorium tergolong limbah B3 karena sifat dan konsentrasinya banyak mengandung zat yang dapat membahayakan lingkungan, manusia, dan makhluk hidup lainnya. Kegiatan pengujian laboratorium menghasilkan sisa air limbah yang mengandung bahan kimia bersifat asam dan basa. Bahan kimia yang bersifat asam seperti asam klorida, asam nitrat, asam sulfat, asam fosfat, dan asam karboksilat. Sedangkan, jenis bahan kimia senyawa basa yang digunakan misalnya natrium hidroksida dan kalium hidroksida. Selain mengandung bahan kimia, limbah laboratorium dapat digolongkan sebagai limbah B3 karena banyak mengandung logam berat seperti timbal (Pb), Cd, dan besi (Fe). Logam-logam ini sangat berbahaya dan beracun bagi organisme hidup meskipun dalam jumlah kecil. Proses laboratorium menggunakan bahan kimia, fisika, dan biologi. Namun, pada kenyataannya logam berat yang terkandung dalam bahan kimia lebih memiliki jumlah pencemar yang banyak dibandingkan dengan bahan fisika atau biologi dan sifatnya sangat berbahaya (Azzara, 2022).

2.2 Parameter Kualitas Air

2.2.1 Pb

Logam berat (Pb) merupakan logam yang memiliki daya racun besar. Dampak dari logam berat Pb, yaitu gangguan genetik ataupun fisik (Juharna et al., 2022). Logam berat Pb berwarna abu-abu kebiruan dan mempunyai sifat yang mudah untuk dimurnikan pada pertambangan. Adanya logam Pb diperairan karena pembuangan limbah domestik dan industri ke dalam perairan. Logam Pb diperairan yang tenang dapat mengendap pada dasar perairan kemudian menjadi sedimen, sedangkan pada perairan yang mempunyai arus logam dapat terakumulasi pada makhluk hidup yang ada diperairan (Ulumudin & Purnomo, 2022).

Ada dua jenis logam berat (Pb) : timbal organik dan timbal anorganik. Timbal alami yang ditemukan di tanah tidak berasa dan tidak berbau. Timbal umumnya ditemukan di lingkungan sekitar yaitu timbal anorganik yang berasal dari cat, tanah, kosmetik, mainan anak – anak dan produk konsumen. Logam pb mempunyai sifat konduktor listrik

yang lemah sehingga tahan terhadap korosi dan dapat digunakan sebagai bahan pelapis (Akhir & Nurdianti, 2023).

2.3 Eco-enzyme

Eco-enzyme pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Rasukon Poompanvong dari Thailand (Pakpahan et al., 2022). *Eco-enzyme* memiliki beberapa kandungan jenis enzim seperti protease, lipase, dan amilase (Zainudin & Kesumaningwati, 2022). *Eco-enzyme* merupakan cairan ekstrak yang diperoleh dari hasil fermentasi sisa sayuran dan buah dengan tambahan gula. Prinsip dalam pembuatan *eco-enzyme* mirip dengan proses pembuatan kompos hanya saja ada media untuk pertumbuhan yaitu air dengan ukuran perbandingan air (10): sampah organik (3): Gula merah (1) dengan waktu fermentasi selama 3 bulan (Verma et al., 2019). Awal mula penggunaan *eco-enzyme* hanya diperuntukkan kepada lahan pertanian. Namun, seiring dengan berkembangnya penelitian *eco-enzyme* dapat digunakan untuk keperluan lainnya seperti menghilangkan aroma tidak sedap dari peternakan, membuat ikan sehat, mencuci buah, membersihkan rumah, membersihkan badan, sebagai obat kumur, dan lain-lain (Nurfajriah et al., 2021).

Eco-enzyme adalah bioaktivator yang mampu memecah zat organik, dan enzim yang dihasilkan selama fermentasi ini dapat mengontrol limbah yang dihasilkan untuk menghasilkan produk yang bermanfaat. *Eco-enzyme* juga merupakan enzim ramah lingkungan yang dihasilkan dari fermentasi bersifat asam dan mengandung enzim biokatalitik (protease, amilase dan lipase) (Fanani et al., 2024).

Dalam penelitian ini, *eco-enzyme* yang digunakan dibuat dari limbah kulit nanas dan kulit jeruk. Karena limbah kulit buah banyak ditemukan di lingkungan, maka limbah tersebut dapat dimanfaatkan sebagai produk *eco-enzyme* yang dapat meminimalisir jumlah limbah yang dibuang ke lingkungan. Kulit jeruk mengandung vitamin C, minyak atsiri dan pektin. Sebaliknya kulit nanas mengandung vitamin C dan enzim. *Eco-enzyme* dari kulit jeruk dan nanas menghasilkan enzim multi hidrolitik, seperti enzim amilase, protease, dan lipase yang dapat mendegradasi air. Enzim hidrolitik ekstraseluler sangat stabil, dan sangat tahan terhadap bahan kimia (Gaspersz & Fitrihidajati, 2022).

Membuat *eco-enzyme* sendiri memiliki beberapa keuntungan, meskipun memerlukan waktu yang lebih lama daripada membeli produk siap pakai, seperti hemat biaya karena bahan yang digunakan merupakan sisa rumah tangga seperti kulit buah dan sayuran, kemudian gula dan air yang biayanya sangat rendah, sedangkan produk siap pakai cenderung lebih mahal, *eco-enzyme* buatan sendiri juga dapat mengurangi limbah rumah

tangga dan mendukung prinsip zero waste, membuat *eco-enzyme* sendiri juga dapat menjadi pengalaman memahami dan belajar mengenai proses fermentasi dan sifat alami bahan-bahan organik.

2.4 Adsorpsi

Proses adsorpsi merupakan salah satu usaha untuk mengolah limbah Pb. Metode adsorpsi untuk pengolahan air limbah memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan metode lain. Salah satunya adalah bahwa prosesnya ekonomis dan fleksibel, memiliki kinerja yang baik, ramah lingkungan, dapat diregenerasi (Anggraini et al., 2022). Adsorpsi kimia dapat menghasilkan pembentukan lapisan monomolekular adsorbat pada permukaannya dengan menggunakan gaya-gaya dari valensi sisa dari molekul yang ada pada permukaan (Widayatno et al., 2017). Salah satu metode untuk mengurangi konsentrasi Pb dalam limbah yaitu adsorpsi. Adsorpsi adalah metode yang sederhana dan ekonomis, adsorben memegang peranan paling penting dalam proses adsorpsi. Adsorpsi lebih baik pada tingkat keasaman yang tinggi karena dapat terjadi pengionan yang lebih besar dan adsorpsi dapat terjadi jika logam membentuk ion (Purwiandono & Haidar, 2022). Analisis sampel hasil dari pengumpulan data dianalisis menggunakan alat *Atonomic Absorption Spectrophotometer* (AAS) (Zaini & Sami, 2016).

2.5 Baku Mutu Air Limbah Laboratorium

Limbah laboratorium merupakan limbah yang banyak mengandung senyawa organik dan anorganik. Kandungan minimum pada logam berat yang masih diijinkan terdapat pada air limbah sebelum dibuang telah diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 05 Tahun 2014 mengenai Baku Mutu Air Limbah. Untuk limbah laboratorium mengacu pada bagian baku mutu air limbah bagi usaha atau kegiatan. Pada bagian tersebut ditetapkan bahwa kandungan minimal logamPb, Cu, dan Cd berturut-turut yaitu 0,1 mg/L, 2,0 mg/L, dan 0,05 mg/L (Anggraini et al., 2022).

2.6 Waktu Pengujian

Waktu pengujian sampel dilakukan pada hari ke -0, 1, 2, 3, 4 dan 5 dengan pertimbangan waktu yang merupakan waktu kontak system pengolahan secara alamiah. Variasi waktu pada pengambilan sampel digunakan untuk dapat mencari waktu yang paling optimal.

2.7 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan ringkasan dari penelitian terdahulu mengenai penurunan logam berat menggunakan *eco-enzyme*:

- a. Hasil dari penelitian (Dina et al., 2022).

Pada penelitian ini menjelaskan tentang penurunan logam berat kromium (Cr) menggunakan filtrat kulit nanas. Kulit nanas sendiri mengandung asam sitrat yang dapat membentuk senyawa kompleks dengan logam, mengikat logam untuk mengatasi dampak negatif logam pada bahan makanan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menurunkan kandungan logam berat kromium (Cr) dengan menggunakan perbedaan konsentrasi filtrat kulit nanas dan waktu pencampuran limbah dengan filtrat kulit nanas. Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa filtrat kulit nanas efektif menurunkan kandungan logam kromium (Cr) pada air limbah simulasi. Presentase penurunan kandungan logam kromium (Cr) tertinggi melebihi 100% pada konsentrasi filtrat kulit nanas 100% selama waktu pencampuran 60 menit.

- b. Hasil dari penelitian (Pangesti, A.T., 2022).

Pada penelitian ini membahas potensi filtrat buah nanas dalam penurunan logam berat timbal (Pb) pada ikan toman, asam sitrat $C_6H_8O_7$ dari asam buah alami yang mempunyai kemampuan dapat mengikat logam berat timbal (Pb). Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menurunkan logam berat timbal (Pb) pada ikan toman. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu jika semakin tinggi konsentrasi filtrat pada buah nanas, maka penurunan kadar Pb pada ikan toman akan semakin besar. Pada konsentrasi 50% mengalami penurunan, sedangkan pada konsentrasi 75% mengalami kenaikan dimana disebabkan oleh kurangnya ketelitian saat penimbangan sampel sehingga menyebabkan bobot sampel di konsentrasi 75% mengalami kenaikan.

- c. Hasil dari penelitian (Akhir & Nurdianti, 2023).

Pada penelitian ini membahas pemanfaatan kulit jeruk dalam penyerapan logam timbal (Pb) pada limbah cair batik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menganalisis kemampuan adsorben kulit jeruk dalam proses adsorpsi dalam menurunkan konsentrasi logam timbal (Pb) pada limbah cair industri batik. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa adsorben kulit jeruk mampu menurunkan kandungan logam berat Pb pada air limbah industri batik

dengan kapasitas adsorpsi maksimum 128,21 mg/g, efisiensi removal logam berat Pb 86%, dan adsorben yang tidak aktivasi mempunyai removal sebesar 74% yang mana tetap dapat mengurangi kadar konsentrasi logam Pb tersebut.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, yang beralamat di Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang Km.14,5, Besi Sleman, Krawitan, Umbulmartani, Kec. Ngemplak, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55584. Penelitian ini dilakukan selama 5 bulan yaitu 3 bulan (Oktober 2023-Desember 2023) untuk pembuatan ecoenzyme, persiapan bahan dan alat, dan mengumpulkan kajian literatur. Kemudian, 3 bulan berikutnya (Mei 2024-Juli 2024) dilakukan untuk uji laboratorium, pencatatan data, pengamatan, pengolahandata, analisis data, serta penyusunan laporan hasil uji penelitian.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a.) Alat:

1. *Atomic Absorption Spectrometer (AAS)*
2. *Beaker glass* 1.000 mL
3. Pipet volumetrik 5 mL, 10 mL, 25 mL, dan 100 mL
4. Labu ukur 100 mL
5. *Erlenmeyer* 250 mL
6. Corong gelas
7. *Hotplate stirrer*
8. Botol vial
9. pH universal

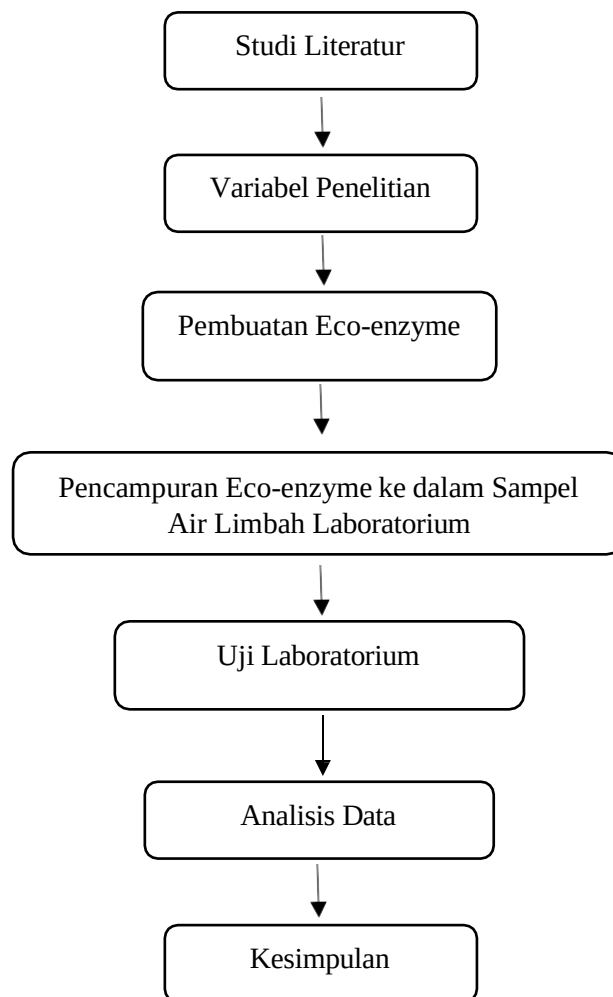
b.) Bahan:

1. Aquades
2. Asam nitrat (HNO_3)
3. Air limbah laboratorium
4. Air

5. Gula merah
6. Kulit jeruk dan kulit nanas

3.3 Prosedur Analisis Data

Prosedur analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan dalam bentuk kuantitatif, dimana analisis data yang akan dilaksanakan menjelaskan adanya pengaruh eco-enzyme yang menjadi objek penelitian pada air limbah laboratorium. Adapun langkah-langkah dalam menganalisis data sebagaimana terlihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Prosedur Analisis Data

3.3.1 Studi Literatur

Tahap penelitian studi literatur meliputi pencarian referensi, meneliti dan memahami teori-teori terkait tentang kulit jeruk dan kulit nanas, efektifitas penyerapan logam Pb dengan kulit jeruk dan kulit nanas, komposisi senyawa dan fungsi dari kulit jeruk dan kulit nanas serta limbah cair laboratorium. Studi literatur dilakukan dengan menggunakan tugas akhir, jurnal penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian yang sedang dilaksanakan.

3.3.2 Variabel Penelitian

Variabel pada penelitian ini yaitu variabel terikat dan variabel bebas. Variabel terikat adalah kadar parameter Pb yang dicampur dengan *eco-enzyme*. Sedangkan variabel bebas adalah dosis dan waktu paling optimal yang digunakan dalam penelitian.

3.3.3 Pembuatan Eco-enzyme

Bahan yang digunakan dalam pembuatan *eco-enzyme* ialah nanas dan jeruk yang telah difermentasikan dalam botol uji yang tertutup rapat. Waktu fermentasi yang dibutuhkan dalam penelitian fermentasi anaerobik adalah 3 bulan. Dengan perbandingan bahan yang digunakan yakni air (10) : bahan organik (3) : gula merah (1). Dengan menggunakan air 12 liter : bahan organik (kulit jeruk 1,8 kg : kulit nanas 1,8 kg) : gula merah 1,2 kg. Semua bahan yang sudah dimasukan ke dalam wadah uji diaduk hingga rata dan ditutup rapat.

Pada bulan pertama di minggu pertama, gas yang terbentuk dilepaskan dengan membuka tutup toples setiap hari. Setelah itu, pembukaan tutup toples dilakukan setiap dua hari sekali hingga bulan ketiga, hal tersebut dilakukan agar gas yang dihasilkan dapat dikeluarkan. Ini dilakukan dengan membuka tutup toples selama sekitar lima belas menit. Setelah tiga bulan proses fermentasi, cairan kecoklatan dan ampas fermentasi dihasilkan. Larutan tersebut yang disebut sebagai *eco-enzyme*. *Eco-enzyme* perlu disimpan di tempat yang jauh dari sinar matahari langsung agar memiliki sirkulasi udara yang baik (Yuliono et al., 2023).

Pada penelitian *eco-enzyme* kulit buah jeruk menunjukkan hasil pH 3

(Nururrahmani et al., 2023). Sedangkan hasil pada *eco-enzyme* kulit buah nanas pH antara 3-4. Larutan *eco-enzyme* yang didapatkan dari bahan organik buah, dapat menghasilkan parameter kimia yang bersifat asam dengan nilai pH rendah. *Eco-enzyme* mempunyai nilai pH rendah dikarenakan terdapat kandungan asam organik yang cukup tinggi seperti asam asetat dan asam sitrat (Rochyani et al., 2020).

3.3.4 Pencampuran *Eco-enzyme* ke dalam Sampel Air Limbah Laboratorium

Eco-enzyme yang baik memenuhi persyaratan pH di bawah 4 dan memiliki aroma asam segar (Pakpahan et al., 2022). Pertama dilakukan pengambilan larutan *eco-enzyme* dengan cara disaring untuk memisahkan air dengan ampasnya. Pada penelitian ini memanfaatkan air dari *eco-enzyme*, setelah itu simpan di wadah tertutup. Selanjutnya dilakukan pencampuran *eco-enzyme* dan air limbah laboratorium, untuk dilakukan pengujian mengenai kandungan timbal (Pb). Dengan dilakukan analisis kualitas air limbah terhadap Pb. Analisis dilakukan dengan menyiapkan botol yang berisi sampel air limbah laboratorium dengan variasi 10% (900 ml limbah dan 100 ml *eco-enzyme*), variasi 5% (950 ml limbah dan 50 ml *eco-enzyme*), variasi 2,5% (975 ml limbah dan 25 ml *eco-enzyme*). Pengujian dilakukan selama 5 hari. Pengujian parameter Pb sesuai dengan SNI 6989-84 2019.

3.3.5 Uji Laboratorium

Dalam menguji parameter kualitas air limbah, akan dilakukan pengambilan sampel air limbah. Baik sebelum dilakukan pengujian maupun sesudah pengujian. Adapun metode pengujian yang diperlukan pada masing-masing parameter sebagai berikut:

a.) Pengawetan Contoh Uji

1. Wadah : Botol plastik (*polyethylene*)
2. Pengawet :
 - untuk logam terlarut, saring dengan media penyaring dengan ukuran pori 0.45 μm dan diasamkan dengan HNO_3 hingga pH <2
3. Lama penyimpanan : 6 bulan
4. Kondisi penyimpanan : Suhu ruang

b.) Persiapan Pengujian

1. Persiapan contoh uji logam terlarut : Siapkan contoh uji yang telah disaring menggunakan media penyaring dengan ukuran pori 0.45 μm dan diawetkan. Contoh uji siap didestruksi mengikuti langkah sebagai berikut:
 - Homogenkan contoh uji, ambil secara kuantitatif 100 mL contoh uji dan masukkan ke dalam gelas piala 250 mL atau *Erlenmeyer* 250 mL
 - Tambahkan 5 mL HNO_3 pekat, bila menggunakan gelas piala, tutup dengan kaca arloji dan bila dengan *Erlenmeyer* gunakan corong gelas
 - Panaskan perlahan-lahan sampai volumenya berkisar 10 mL-20 mL, jika destruksi belum sempurna (tidak jernih), maka tambahkan lagi 5 mL HNO_3 pekat
 - Kemudian tutup gelas piala dengan kaca arloji atau tutup *Erlenmeyer* dengan corong dan panaskan lagi (tidak mendidih). Lakukan proses ini secara berulang sampai semua logam larut, yang terlihat dari warna endapan dalam contoh uji menjadi agak putih atau contoh uji menjadi jernih.
 - Bilas kaca arloji atau corong dengan air bebas mineral dan masukkan air bilasannya ke dalam gelas piala
 - Pindahkan contoh uji ke dalam labu ukur 100 mL (saring bila perlu) dan tambahkan air bebas mineral sampai tepat tanda tera kemudian homogenkan
 - Contoh uji siap diukur serapannya.

2. Pembuatan kurva kalibrasi

- Operasikan alat dan optimasikan sesuai dengan petunjuk penggunaan alat (*cookbook*) untuk pengukuran logam tertentu
- Aspirasikan larutan blanko ke dalam SSA-nyala kemudian atur serapan hingga nol
- Aspirasikan larutan kerja satu persatu ke dalam SSA-nyala, lalu ukur serapannya pada Panjang gelombang logam tertentu sesuai dengan parameter logam yang dianalisis
- Lakukan pembilasan pada selang aspirator dengan larutan pengencer
- Buat kurva kalibrasi dari data pada langkah 3 dan tentukan persamaan garis lurus
- Jika koefisien korelasi regresi linier (r) $< 0,995$, periksa kondisi alat dan ulangi langkah kedua dan ketiga hingga diperoleh nilai koefisien $r \geq 0,995$

3. Pengujian

- Aspirasikan contoh uji ke dalam SSA-nyala dan ukur serapannya pada Panjang gelombang logam tertentu. Bila hasil serapan lebih besar dari kisaran kadar optimum, lakukan pengenceran
- Catat hasil pengukur dan laporkan hasil pengujian sesuai dengan lampiran A

3.4 Analisis Data

Analisis data ini menggunakan metode statistik. Hal ini dikarenakan pengujian ini dilakukan untuk melihat perbandingan dosis optimum yang dimasukkan ke dalam air limbah dalam bentuk grafik. Sehingga dapat dilihat manakah dosis yang dapat digunakan untuk mengolah air limbah secara tepat. Perhitungan efisiensi penyisihan *eco-enzyme* pada limbah laboratorium. Analisis kemampuan *eco-enzyme* yang terbuat dari kulit jeruk dan nanas untuk menghilangkan parameter air limbah dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

Efisiensi Pengolahan

$$\text{Eff} = \frac{C_i - C_e}{C_i} \times 100\%$$

Keterangan:

Eff	= Nilai efisiensi (%)
C _i	= Konsentrasi influen (mg/L)
C _e	= Konsentrasi effluent (mg/L)

Dalam pengolahan air atau limbah, konsentrasi influen merupakan aliran masuk yang masuk ke dalam sistem pengolahan, konsentrasi ini penting untuk menentukan beban pencemaran awal dan kebutuhan pengolahan. Sedangkan konsentrasi effluent merupakan aliran yang keluar dari sistem pengolahan, yang telah melalui proses pengolahan, konsentrasi effluent sering menjadi indikator efektivitas pengolahan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Limbah Laboratorium

Limbah cair laboratorium merupakan limbah yang berwujud cair yang dihasilkan selama proses aktivitas di laboratorium kimia. Aktivitas penelitian dan pengujian di laboratorium dapat menghasilkan volume limbah yang cukup signifikan. Limbah yang dihasilkan dari laboratorium biasanya relatif banyak terkontaminasi berbagai jenis bahan kimia. Dengan kata lain, limbah laboratorium ini mengandung berbagai zat pencemar yang sangat bervariasi dan dapat menimbulkan dampak negatif jangka panjang terhadap lingkungan. Karakteristik air limbah laboratorium dikategorikan sebagai Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Sebagian besar unsur-unsur berbahaya yang ada pada limbah laboratorium yaitu logam berat seperti Besi (Fe), Krom (Cr), Mangan (Mn), Merkuri (Hg), dan Timbal (Pb). Timbal (Pb) tergolong sebagai logam berat karena berat jenisnya lebih besar dibandingkan dengan air ($11,34 \text{ gr/cm}^3$). Pb memiliki berat atom 207,21 bersifat lunak, berwarna abu-abu kilau logam, dan memiliki titik leleh $327,4^\circ\text{C}$ dan titik didih 1.6204°C . Efek Pb bergantung pada konsentrasi paparan. Pada konsentrasi tinggi terjadi keracunan akut yang ditandai dengan gejala klinis. Pb mempunyai afinitas yang kuat, maka dari itu setiap atom Pb dapat menyebabkan kerusakan biokimia pada tubuh (Oktavia, 2021).

Penurunan karakteristik air limbah Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan diperoleh melalui uji baku mutu logam berat Pb dengan menggunakan instrumen AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*). Nilai pH yang terkandung dalam limbah cair laboratorium pada hasil pengukuran menggunakan pH universal adalah 3, yang berarti tingkat keasaman pada limbah laboratorium asam. Logam yang terkandung dalam air jika pH semakin asam, maka kelarutannya akan semakin besar, sebaliknya jika pH bersifat basa, maka kelarutannya akan semakin kecil dengan ditandai adanya endapan. Kelarutan senyawa logam berat cenderung akan stabil pada badan air yang memiliki pH normal dengan kisaran pH 7-8. Semakin kecil larutan dari senyawa logam berat, maka diikuti dengan kenaikan pH pada air (Ramdhani, 2024).

4.2 Karakteristik *Eco-enzyme*

Pada penelitian ini menggunakan *eco-enzyme* dari limbah kulit jeruk dan nanas. Fermentasi *eco-enzyme* selama tiga bulan. Pada pembuatan *eco-enzyme* limbah buah yang

digunakan dipotong-potong, lalu dimasukkan ke dalam wadah kosong yang tertutup, kemudian ditambahkan gula merah dan air dengan perbandingan air (10): sampah organik (3): gula merah (1), langkah selanjutnya bahan campuran tersebut dihomogenkan dan ditutup rapat. Simpan pada tempat yang minim sinar matahari. Selama minggu pertama, botol dibuka secara berkala selama 5-10 menit untuk mengeluarkan gas yang terperangkap. Pada pengamatan di minggu pertama terdapat gas yang terbentuk selama fermentasi, seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Gas yang Terbentuk Selama Proses Fermentasi

Proses fermentasi menghasilkan enzim akibat adanya pencampuran gula merah, air, limbah kulit buah nanas dan jeruk, dengan waktu fermentasi sekitar 3 (tiga) bulan. Selama fermentasi terjadi perubahan karbohidrat menjadi asam volatile, asam organik yang ada dalam bahan limbah dapat larut pada proses fermentasi karena pH enzim pada sampah bersifat asam. Sifat asam enzim sampah membantu ekstraksi enzim dalam larutan selama proses fermentasi. Fermentasi glukosa mengalami perombakan, sehingga menghasilkan asam piruvat. Asam piruvat dalam kondisi anaerob, piruvat dekarboksilase mengalami penguraian menjadi asetaldehid, selanjutnya asetaldehid berubah menjadi asam asetat (Sri Sulasminingsih et al., 2024). pH yang dihasilkan selama fermentasi 3 bulan pada *eco-enzyme* yaitu 4, yang berarti memiliki sifat asam.

Eco-enzyme mengandung mikroorganisme aktif yang menghasilkan enzim, dan selama proses fermentasi, mikroorganisme aktif dalam larutan *eco-enzyme* dipilih sesuai dengan lingkungan pertumbuhannya. Menurut Rasit dan Mohammad (2018), prinsip fermentasi pada *eco-enzyme* adalah karbohidrat dari molase diubah menjadi asam volatil dan bahan organik dari kulit buah yang mengandung asam organik diubah menjadi larutan

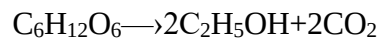
enzim. Molase digunakan sebagai substrat fermentasi karena mengandung bahan organik tinggi seperti karbon, sedangkan air berperan sebagai media di mana zat organik yang dibuang ke dalam air untuk partisi antara fase padat terlarut dan tersuspensi (Gaspersz & Fitrihidajati, 2022).

Mengonsumsi nanas dan jeruk dalam berbagai makanan dapat meninggalkan limbah berupa kulit buah. Limbah kulit nanas dan kulit jeruk dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi *eco-enzyme*. Pemanfaatan limbah kulit nanas dan jeruk sebagai *eco-enzyme* dapat memberikan manfaat tambahan bagi masyarakat seperti untuk pembersihan lantai atau sebagai desinfektan dengan aroma fermentasi yang khas. *Eco-enzyme* adalah cairan yang dihasilkan selama fermentasi sampah organik. Fungsi fermentasi *eco-enzyme* antara lain digunakan sebagai cairan pembersih lantai, pembersih sayur dan buah, penangkal serangga dan penyubur tanaman. Manfaat dari hasil fermentasi *eco-enzyme* sebagai desinfektan karena mengandung alkohol dan asam asetat. *Eco enzyme* adalah hasil dari aktivitas enzim yang terkandung di dalam bakteri atau fungi (Suprayogi et al., 2022).

Pencampuran kulit jeruk dan kulit nanas untuk *eco-enzyme* dapat membantu mengurangi kadar Pb karena mengandung asam organik alami yang memiliki kemampuan untuk mengikat Pb, kulit jeruk dan kulit nanas juga memiliki kandungan antioksidan yang tinggi, seperti flavonoid, polifenol, dan enzim bromelain yang dapat membantu mengoksidasi logam Pb dan menjadikannya lebih stabil serta lebih mudah dihilangkan dari air atau tanah yang terkontaminasi, kandungan asam asetat dalam *eco-enzyme* dapat membunuh kuman, virus, dan bakteri, sehingga dapat menghilangkan hama tanaman dan menghilangkan berbagai polutan yang dapat mencemari lingkungan (Widiani & Novitasari, 2023). Cairan *eco-enzyme* berwarna cokelat gelap dan memiliki aroma asam segar yang kuat. Penggunaan produk *eco-enzyme* membantu pengolahan limbah cair, pemurnian air sungai, dan peningkatan kualitas udara dan tanah (Zultaqawa et al., 2023).

Eco-enzyme dapat digunakan untuk alternatif pengolahan terdesentralisasi pada pengolahan air limbah domestik. *Eco-enzyme* memiliki fungsi yang sama dengan enzim pada umumnya, yaitu dapat mempercepat degradasi dalam waktu yang singkat. Pengolahan limbah pada *eco-enzyme* memiliki biaya yang relatif murah. *Eco-enzyme* dapat digunakan untuk mengurangi lumpur dan bakteri yang berbahaya dalam limbah (Widyastuti et al., 2023). Pemanfaatan *eco-enzyme* untuk berbagai keperluan dan fungsi bergantung pada kandungan senyawa organik yang di dalam bahan pembuatan *eco-enzyme* yang bersifat antioksidan dan antimikroba (Muninggar, 2020). Berdasarkan uraian

diatas, diketahui bahwa *eco-enzyme* dapat digunakan sebagai bahan pengawet alami pada bahan pangan karena memiliki karakteristik pH asam, mengandung alkohol, senyawa organik dan bakteri asam laktat. Tingkat keberhasilan dari *eco-enzyme* dari kulit nanas, kulit jeruk dapat dianalisis setelah 90 hari. Pada proses fermentasi pembuatan *eco-enzyme* terjadi reaksi kimia yang berlangsung yaitu:



Penjelasan dari reaksi kimia diatas, yaitu:

$C_6H_{12}O_6$ = Glukosa dari kulit buah jeruk dan nanas

C_2H_5OH = Etanol (alkohol)

CO_2 = Karbon dioksida, yang dapat terlihat sebagai gelembung selama proses fermentasi.

Kandungan enzim yaitu lipase, tripsin, amilase, yang dapat mencegah atau membunuh kuman, virus, dan bakteri. Dari sudut pandang ekonomi produksi *eco-enzyme* dapat mengurangi konsumsi pembelian produk pembersih lantai dan pengusir serangga (Suprayogi et al., 2022). Parameter keberhasilan dapat dianalisis dari nilai pH, kadar alkohol, warna, aroma dan volume produk *eco-enzyme* yang dihasilkan (Suprayogi et al., 2022). Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian terhadap produk *eco-enzyme* dari kulit nanas, kulit jeruk. Pada minggu ke 1 – 4 Oktober terjadi perubahan warna menjadi kuning pekat dengan ampas buah yang masih mengambang. *Eco-enzyme* pada minggu ini sudah adanya gas yang keluar, dan bau yang dihasilkan yaitu bau segar (bau khas *eco-enzyme*), seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Perubahan Warna *Eco-enzyme* Minggu Ke 1-4

Pada minggu ke 5 bulan November terjadi perubahan warna menjadi lebih coklat pekat, dengan ampas buah yang sudah mulai mengendap. Bau yang dihasilkan *eco-enzyme* asam lebih menyengat (bau khas *eco-enzyme*), seperti pada Gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Perubahan Warna *Eco-enzyme* Minggu ke-5

Pada minggu ke 6 – 11 bulan November – Desember terjadi perubahan warna menjadi coklat pekat, dengan ampas kulit buah yang mengendap. Bau yang dihasilkan

asam yang sangat kuat, seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Perubahan Warna *Eco-enzyme* Minggu ke 6-11

Pada penelitian ini dilakukan dengan memberikan konsentrasi ke air limbah dalam bentuk 2,5%, 5%, dan 10% dengan rentang waktu pengujian hari ke 0 hingga hari ke 5. pH yang dihasilkan *eco-enzyme* yaitu sekitar 4, memenuhi standar yang baik dalam pembuatan *eco-enzyme*. Rendahnya produk *eco-enzyme* dikarenakan kandungan asam organik yang tinggi. Hasil pada penelitian ini seperti pada penelitian sebelumnya dimana *eco-enzyme* secara kimia yang bersifat asam dengan memiliki pH antara 3 sampai 4. Aroma asam yang dihasilkan berasal dari asam asetat yang ada dalam produk *eco-enzyme*. Asam asetat dihasilkan melalui proses metabolisme bakteri secara alami yang terdapat pada sisa buah. Adanya proses fermentasi bakteri untuk mendapatkan energi dari gula yang memperoleh produk samping asam asetat dan alkohol (Widiani & Novitasari, 2023). Pengambilan *eco-enzyme* setelah 3 bulan dilakukan fermentasi,

seperti pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Pengambilan Eco-enzyme

Menurut kajian literatur fermentasi *eco-enzyme* dikatakan berhasil jika menghasilkan larutan yang berwarna coklat dan beraroma seperti jeruk atau bau buah-buahan dan memiliki nilai pH dibawah 4 atau pH asam. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan bahwa warna produk *eco-enzyme* mengalami perubahan yang awalnya berwarna coklat bening menjadi berwarna coklat keruh (Larasati et al., 2020).

4.3 Tingkat Penurunan Pb

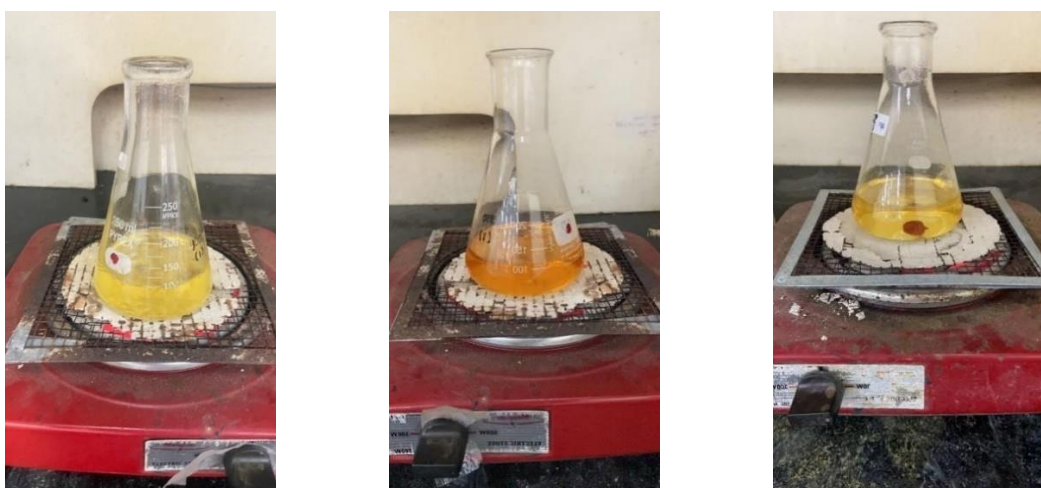
Pada pengujian penurunan Timbal (Pb) dilakukan dari hari ke 0 hingga hari ke 5, kondisi fisik yang terlihat untuk sampel air limbah tanpa ada penambahan dari *eco-enzyme* yaitu bau yang tidak sedap, berwarna keruh, dan ada ampas yang perlu disaring. Untuk sampel air limbah menggunakan penambahan *eco-enzyme* 10%, 5%, dan 2,5%, memiliki bau asam yang segar. Pada sampel 10% menggunakan limbah 900 ml, dan *eco-enzyme* 100 ml, pada sampel 5% menggunakan limbah 950 ml, dan *eco-enzyme* 50 ml, kemudian pada sampel 2,5% menggunakan limbah 975 ml, dan *eco-enzyme* 25 ml. Pengujian destruksi pada hari ke 0 tanpa dicampur dengan *eco-enzyme*, pada sampel 900 ml memiliki warna orange, pada sampel 950 ml memiliki warna kuning yang lebih terang, kemudian pada sampel 975 ml memiliki warna yang lebih jernih. Langkah yang dilakukan pada penurunan Pb yaitu dengan memasukkan 100 ml limbah pada setiap konsentrasi 10%, 5%,

dan 2,5% ke erlenmeyer, kemudian ditambahkan 10 ml HNO^3 . Lalu dilakukan destruksi di lemari asam menggunakan kompor, diamkan sampai volume menjadi 10 ml, kemudian disaring dengan ditambahkan aquades 100 ml, lalu dihomogenkan, setelah itu disaring, kemudian dilakukan pembacaan AAS. Pengujian tersebut dilakukan selama hari ke 0-5 agar dapat mengetahui tingkat penurunan Pb menggunakan *eco-enzyme*, seperti pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Pengujian Hari ke-0 (10%, 5%, dan 2,5%)

Sedangkan pada hari ke 1 sampel 10% memiliki warna kuning, pada sampel 5% memiliki warna orange yang lebih pekat, kemudian pada sampel 2,5% memiliki warna kuning yang lebih gelap dari sampel 10%, seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Pengujian Hari ke-1 (10%, 5%, dan 2,5%)

Kemudian pada hari ke 2 sampel 10% memiliki warna coklat yang sangat pekat,

pada sampel 5% memiliki warna coklat pekat, dan pada sampel 2,5% memiliki warna orange tua, seperti pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Pengujian Hari ke-2 (10%, 5%, dan 2,5%)

Sedangkan pada hari ke 3 pada sampel 10% memiliki warna orange tua, pada sampel 5% memiliki warna coklat gelap, dan pada sampel 2,5% memiliki warna coklat muda, seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Pengujian Hari ke-3 (10%, 5%, dan 2,5%)

Kemudian pada hari ke 4 sampel 10% memiliki warna kuning, pada sampel 5% memiliki warna coklat yang pekat, dan pada sampel 2,5% memiliki warna kuning yang lebih bening, seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4. 10 Pengujian Hari ke-4 (10%, 5%, dan 2,5%)

Pada hari ke 5 yang terakhir sampel 10% memiliki warna coklat yang sangat pekat, pada sampel 5% memiliki warna coklat, dan pada sampel 2,5% memiliki sampel yang berwarna bening, seperti pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 11 Pengujian Hari ke-5 (10 %, 5%, dan 2,5%)

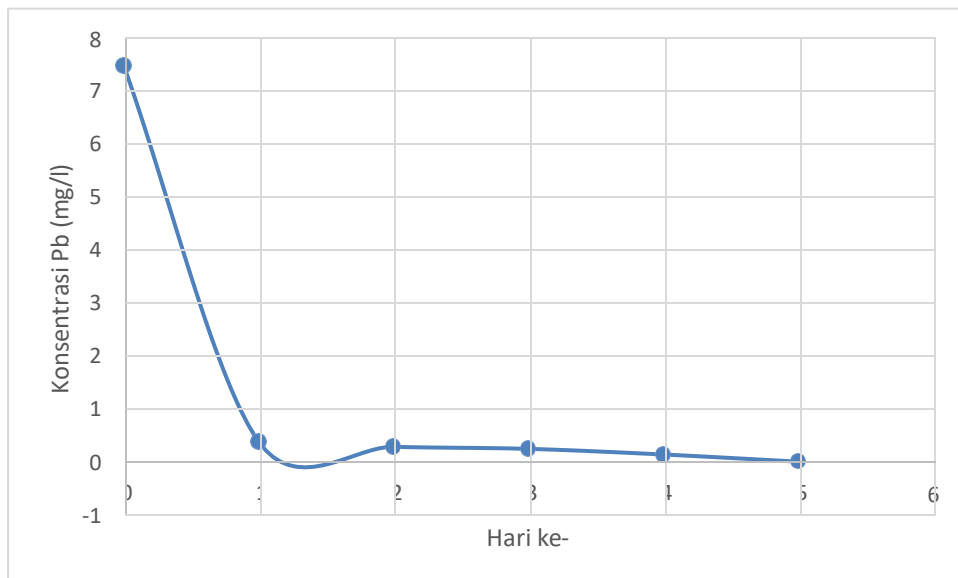
4.3.1 Uji Removal Logam Berat Pb

1. Konsentrasi 10%

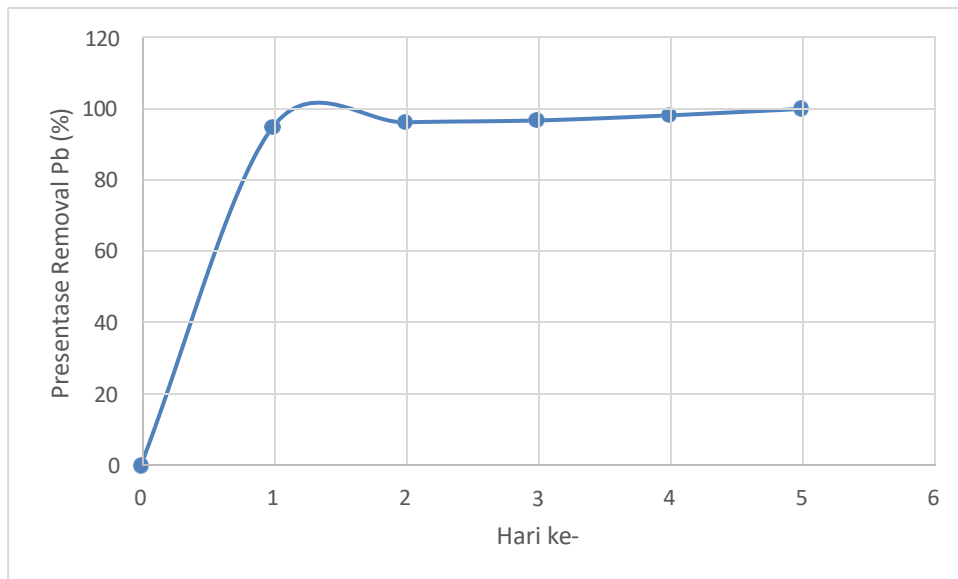
Berikut ini hasil uji removal logam Pb yang dilakukan oleh *eco-enzyme* dengan kadar 10%:

Tabel 4. 1 Hasil Uji Removal Pb 10%

Perhitungan Pb 10%		
Hari ke-	Konsentrasi (mg/L)	Presentase Removal (%)
0	7,477	0
1	0,381	95
2	0,285	96
3	0,246	97
4	0,140	98
5	0,005	100



Gambar 4. 12 Grafik Konsentrasi Pb 10%



Gambar 4. 13 Grafik Presentase Removal Pb 10%

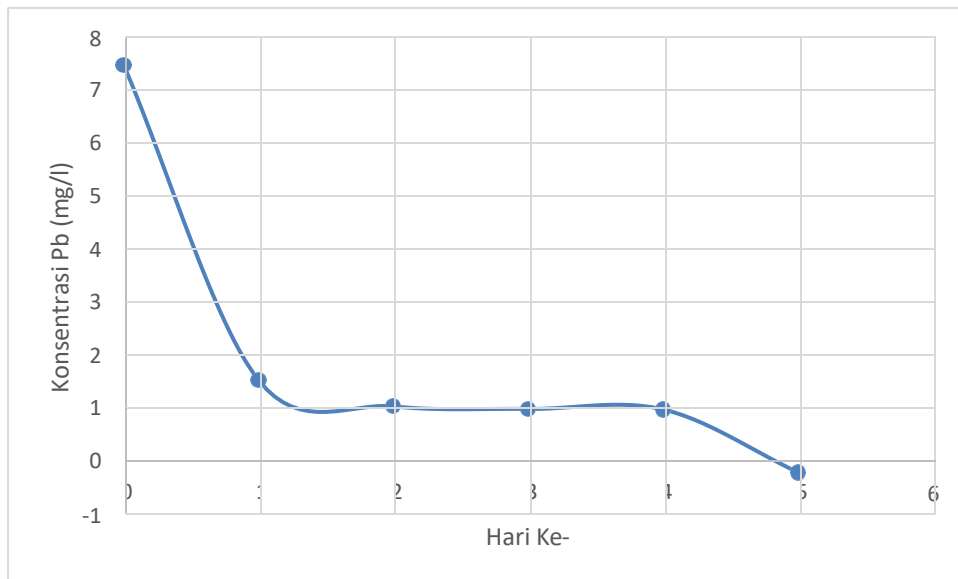
Pengukuran konsentrasi Pb dilakukan pada beberapa waktu selama proses pengujian berlangsung, yaitu pada hari ke-0, ke-1, ke-2, ke-3, ke-4, dan ke-5. Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa logam berat Pb mengalami penurunan dari hari ke-0 memiliki konsentrasi 7,477 mg/L kemudian turun pada hari ke-1 menjadi 0,381 mg/L, turun lagi hari ke-2 menjadi 0,285 mg/L, pada hari ke-3 turun menjadi 0,246, hari ke-4 turun menjadi 0,140, dan hari terakhir ke-5 yang memiliki konsentrasi paling rendah, yaitu 0,005 mg/L. Nilai akhir removal selama 5 hari pada kadar 10% yaitu 100%.

2. Konsentrasi 5%

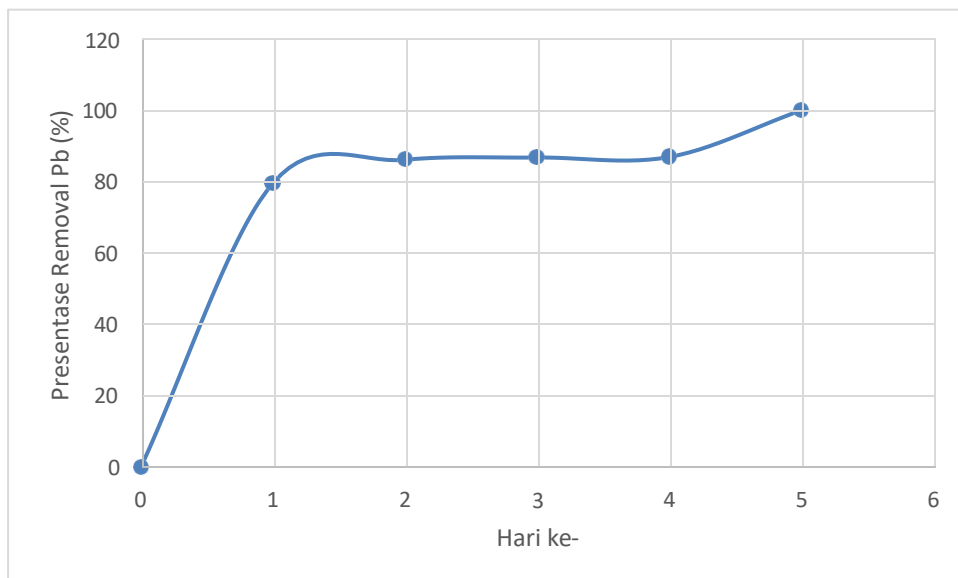
Berikut ini hasil uji removal logam Pb yang dilakukan oleh *eco-enzyme* dengan kadar 5%:

Tabel 4. 2 Hasil Uji Removal Pb 5%

Perhitungan Pb 5%		
Hari ke-	Konsentrasi (mg/L)	Presentase Removal (%)
0	7,477	0
1	1,525	80
2	1,035	86
3	0,987	87
4	0,977	87
5	<LOD	100



Gambar 4. 14 Grafik Konsentrasi Pb 5%



Gambar 4. 15 Grafik Presentase Removal Pb 5%

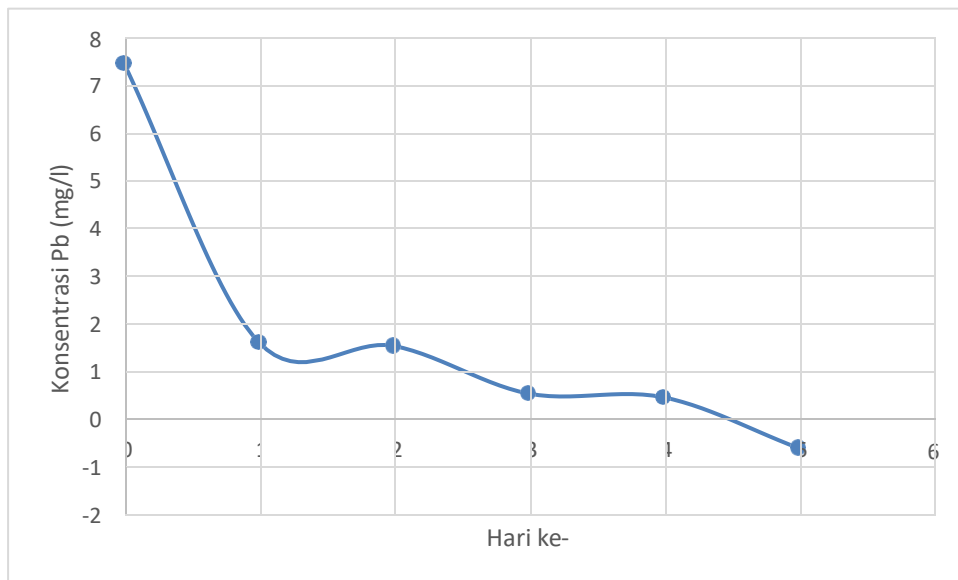
Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa logam berat Pb mengalami penurunan dari hari ke-0 memiliki konsentrasi 2,063 mg/L kemudian turun pada hari ke-1 menjadi 1,525 mg/L, turun lagi hari ke-2 menjadi 1,035 mg/L, pada hari ke-3 turun menjadi 0,987, hari ke-4 turun menjadi 0,977, dan hari terakhir ke-5 yang memiliki konsentrasi paling rendah, yaitu -0,0212 mg/L. Nilai akhir removal selama 5 hari pada kadar 5% yaitu 100%.

3. Konsentrasi 2,5%

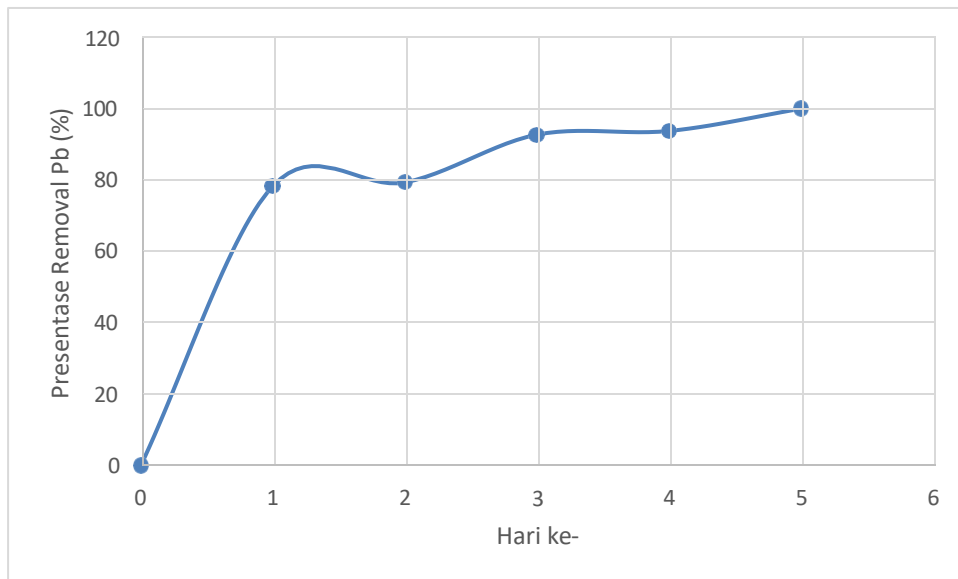
Berikut ini hasil uji removal logam Pb yang dilakukan oleh *eco-enzyme* dengan kadar 2,5%:

Tabel 4. 3 Hasil Uji Removal Pb 2,5%
Perhitungan Pb 2,5%

Hari ke-	Konsentrasi (mg/L)	Efisiensi Pengolahan (%)
0	7,477	0
1	1,621	78
2	1,544	79
3	0,544	93
4	0,467	94
5	<LOD	100



Gambar 4. 16 Grafik Konsentrasi Pb 2,5%



Gambar 4. 17 Grafik Presentase Removal Pb 2,5%

Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa logam berat Pb mengalami penurunan dari hari ke-0 memiliki konsentrasi 7,477 mg/L kemudian turun pada hari ke-1 menjadi 1,621 mg/L, turun lagi hari ke-2 menjadi 1,544 mg/L, pada hari ke-3 turun menjadi 0,544, hari ke-4 turun menjadi 0,467, dan hari terakhir ke-5 yang memiliki konsentrasi paling rendah, yaitu -0,597 mg/L. Nilai akhir removal selama 5 hari pada kadar 2,5% yaitu 100%. Pada pengujian laboratorium dilakukan selama 5 hari, maka diperlukan pengawetan limbah dengan memberikan larutan HNO_3 agar dapat membantu menstabilkan ion, mecegah pembentukan pengendapan, dan mencegah terdegradasi karena limbah perlu disimpan untuk pembacaan AAS.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Konsentrasi timbal (Pb) pada air limbah laboratorium menunjukkan hasil dibawah baku mutu sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 05 Tahun 2014 mengenai Baku Mutu Air Limbah yaitu 0,1 mg/L, sedangkan untuk parameter Pb saat pengujian yaitu sebesar 7,477 mg/L. Kemudian dapat terjadi penurunan pada Pb karena adanya penambahan dari *eco-enzyme*, dengan konsentrasi 10%, 5%, dan 2,5% dalam jangka waktu dari hari ke-0 sampai hari ke-5. Dari hasil pengujian ini, didapatkan bahwa pada hari ke-5 untuk *eco-enzyme* dengan kadar 10% didapatkan konsentrasi pada logam berat Pb sebesar 0,005 mg/L, kemudian dengan kadar 5% memiliki nilai konsentrasi kurang dari LOD (0,636 mg/L), dan pada kadar 2,5% didapatkan nilai konsentrasi kurang dari LOD (0,636 mg/L). Dosis yang paling efisien pada penurunan Pb yaitu dengan kadar 5% pada hari ke-5, yang dimana logam berat Pb sudah sangat kecil setelah ditambahkan *eco-enzyme*. Jadi, pencampuran kulit jeruk dan kulit nanas memberikan keunggulan dalam memaksimalkan proses pengikatan dan penguraian logam berat, menjadikannya metode yang alami dan ramah lingkungan dalam mengurangi kadar Pb.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhir, T., & Nurdianti, S. (2023). *Pemanfaatan Kulit Jeruk (Citrus Sinesis) Dalam Penyerapan Logam Timbal (Pb) Pada Limbah Cair Batik*.
- Anggraini, N., Agustina, T. E., & Hadiah, F. (2022). Pengaruh pH dalam Pengolahan Air Limbah Laboratorium Dengan Metode Adsorpsi untuk Penurunan Kadar Logam Berat Pb, Cu, dan Cd. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(2), 345–355.
<https://doi.org/10.14710/jil.20.2.345-355>
- Azzara, A. K. (2022). *Pengolahan Limbah B3 Logam Berat Cadmium (Cd) Di Laboratorium Kualitas Lingkungan Menggunakan Metode Stabilisasi/Solidifikasi. Cd*.
<https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/41446%0Ahttps://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/41446/18513183.pdf?sequence=1>
- Benny, N., Shams, R., Dash, K. K., Pandey, V. K., & Bashir, O. (2023). Recent trends in utilization of citrus fruits in production of eco-enzyme. *Journal of Agriculture and Food Research*, 13(January), 100657. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100657>
- Budiastuti, P., Rahadjo, M., & Dewanti, N. (2016). Budiastuti P., Rahadjo M, and Dewanti N., 2016 “Analisis Pencemaran Logam Berat Timbal Di Badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang,” J. Kesehat. Masy., vol. 4, no. 5, pp. 119–118. *Jurnal Kesehatan Masyarakat (e-Journal)*, 4(5), 119–118.
- Dina, A., Nm, K., Azizah, A. A., & Setianingsih, A. A. (2022). *Adsorption of Heavy Metal Chromium (Cr) Using Pineapple Skin Filtrate with the Chelation Method Adsorpsi Logam Berat Kromium (Cr) Menggunakan Filtrat Kulit Nanas dengan Metode Khelasi*. 1(7), 1373–1382.
- Fanani, M. R., Hastuti, P. B., & Rusmarini, U. K. (2024). Pengaruh Cara Aplikasi dan Konsentrasi Eco Enzyme terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kacang Panjang. *Agroforetech*, 2(1), 272–278.
- Gaspersz, M. M., & Fitrihidajati, H. (2022). Pemanfaatan Ekoenzim Berbahan Limbah Kulit Jeruk dan Kulit Nanas sebagai Agen Remediasi LAS Detergen. *LenteraBio*, 11(3), 503–513. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index503>
- Juharna, F. M., Widowati, I., & Endrawati, H. (2022). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Kromium (Cr) Pada Kerang Hijau (*Perna viridis*) Di Perairan Morosari, Sayung, Kabupaten Demak. *Buletin Oseanografi Marina*, 11(2), 139–148.

<https://doi.org/10.14710/buloma.v11i2.41617>

- Larasati, D., Puji Astuti, A., & Triwahyuni Maharani, E. (2020). Uji Organoleptik Produk Eco-Enzyme Dari Limbah Kulit Buah (Studi Kasus Di Kota Semarang). *Edusaintek*, 4, 278–283.
- Nurfajriah, N. N., Mariati, F. R. I., Waluyo, M. R., & Mahfud, H. (2021). Pelatihan Pembuatan Eco-Enzyme Sebagai Usaha Pengolahan Sampah Organik Pada Level Rumah Tangga. *Jurnal Ikra-Ith Abdimas*, 4(3), 194–197. <https://journals.upi-yai.ac.id/index.php/IKRAITH-ABDIMAS/article/view/1535>
- Nururrahmani, A., Hibatulloh, M. R., Nabila, R. A., Kusnadi, & Djuarsa, P. (2023). Ekoenzim dari Berbagai Jenis Kulit Jeruk. *HIGIENE: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 9(1), 30–35.
- Oktavia, F. (2021). *Pengolahan Limbah Cair...*, Fika Oktavia, Fakultas Teknik dan Sains UMP, 2021. 1–3.
- Pakpahan, H. T., Panataria, L. R., Simatupang, J. T., & Sianipar, E. M. (2022). Pemanfaatan Sampah Organik Dan Tanaman Lokal Menjadi Eco-Enzyme Bagi Masyarakat Desa Lumban Pea Timur Balige. *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat METHABDI*, 2(1), 58–63. <https://doi.org/10.46880/methabdi.vol2no1.pp58-63>.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Purwiandono, G., & Haidar, A. S. (2022). Studi Adsorpsi Logam Pb(II) Menggunakan Adsorben Kulit Rambutan Teraktivasi HNO₃ dan NaOH. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 7(1), 8–16. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol7.iss1.art2>
- Ramdhani, J. N. F. (2024). *Pengolahan Air Limbah Laboratorium Teknik Lingkungan Dengan Teknologi Lingkungan Tepat Guna (Tltg)*. 1–52.
- Rochyani, N.-, Utpalasari, R. L., & Dahliana, I. (2020). Analisis Hasil Konversi Eco Enzyme Menggunakan Nenas (*Ananas comosus*) Dan Pepaya (*Carica papaya L.*). *Jurnal Redoks*, 5(2), 135. <https://doi.org/10.31851/redoks.v5i2.5060>
- Salindra, B. P., Ningrum, P. T., & Ariyanto. Y. (2021). Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Aliran Limbah Cair dan Air Sumur serta Keluhan Kesehatan Masyarakat. . In *Jurnal Biolink* (Vol. 1, Issue 2021, pp. 1–8).
- SNI 6989-84-2019: Air dan air limbah - Bagian 84: Cara uji kadar logam terlarut dan logam total secara Spektrometri Serapan Atom (SSA).
- Sri Sulasminingsih, Muhammad Ikhsan Amar, & Budhi Martana. (2024). Pemanfaatan Limbah Kulit Jeruk Sebagai Eco-Enzyme Untuk Bahan Pembuatan Hand Sanitizer. *Psikologi Kreatif Inovatif*, 4(1), 27–31. <https://doi.org/10.37817/psikologikreatifinovatif.v4i1.3267>

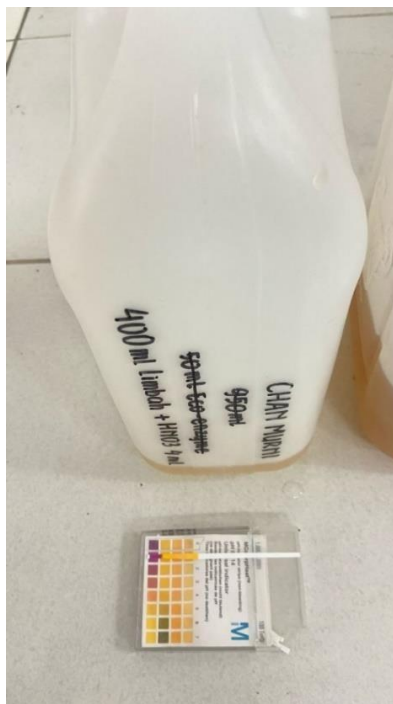
- Suprayogi, D., Asra, R., & Mahdalia, R. (2022). Analisis Produk Eco Enzyme Dari Kulit Buah Nanas (*Ananas comosus* L.) Dan Jeruk Berastagi (*Citrus X sinensis* L.). *Jurnal Redoks*, 7(1), 19–27. <https://doi.org/10.31851/redoks.v7i1.8414>
- Ulumudin, M. M., & Purnomo, T. (2022). Analisis Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Tumbuhan Papirus (*Cyperus papyrus* L.) di Sungai Wangi Pasuruan. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 11(2), 273–283. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v11n2.p273-283>
- Utari, B. (2022). *Penurunan Kadar Timbal (Pb) Pada Sampel Air Skala Laboratorium Menggunakan Kangkung Air (Ipomoea aquatica)*.
- Verma, D., Singh, A. N., & A.K, S. (2019). Use of Garbage Enzyme for Treatment of Waste Water. *International Journal of Scientific Resarch and Review*, 07(07), 210–205. <https://www.researchgate.net/publication/335528212%0AUSE>
- Widayatno, T., Yuliawati, T., Susilo, A. A., Studi, P., Kimia, T., Teknik, F., & Muhammadiyah, U. (2017). Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1), 17–23.
- Widiani, N., & Novitasari, A. (2023). Produksi Dan Karakterisasi Eco-Enzim Dari Limbah Organik Dapur. *BIOEDUKASI (Jurnal Pendidikan Biologi)*, 14(1), 110. <https://doi.org/10.24127/bioedukasi.v14i1.7779>
- Widyastuti, S., Sutrisno, J., Wiyarno, Y., Gunawan, W., & Nurhayati, I. (2023). Eco enzim untuk pengolahan air limbah tahu. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 21(02), 51–59. <https://doi.org/10.36456/waktu.v21i02.7260>
- Yuliana, S., & Handayani, D. (2022). Ecoenzyme Dregs with Organic Sources of Various Types of Orange Peel. *Serambi Biologi*, 7(1), 120–126.
- Yuliono, A., Warsidah, W., Sofiana, M. S. J., Nurdiansyah, S. I., Safitri, I., Pamela, P., & Rizalinda, R. (2023). Pelatihan dan Sosialisasi Fermentasi Limbah Kulit Buah Nanas menjadi Eco-enzyme sebagai Implementasi dari Slogan “Reuse, Reduce dan Recycle (R3).” *Journal of Community Engagement in Health*, 6(1), 17–23. <https://doi.org/10.30994/jceh.v6i1.431>
- Zaini, H., & Sami, M. (2016). Kinetika Adsorpsi Pb (II) Dalam Air Limbah Laboratorium Kimia Menggunakan Sistem Kolom dengan Bioadsorben Kulit Kacang Tanah. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2016, November 2016*, 1–9.
- Zainudin, & Kesumaningwati, R. (2022). Pengaruh Eco Enzyme Terhadap Kandungan Logam Berat Lahan Bekas Tambang Batubara (Effect of Eco Enzyme on Heavy Metal Content in Ex-Coal Mining Land). *Ziraa'Ah*, 47(2), 154–161.
- Zultaqawa, Z., Firdaus, I. N., Aulia, M. D., Sipil, J. T., Indonesia, U. K., Raya, S. B., &

Bandung, K. (2023). Manfaat eco enzyme pada lingkungan. *CRANE : Civil Engineering Research Journal*, 4(2), 10–14.

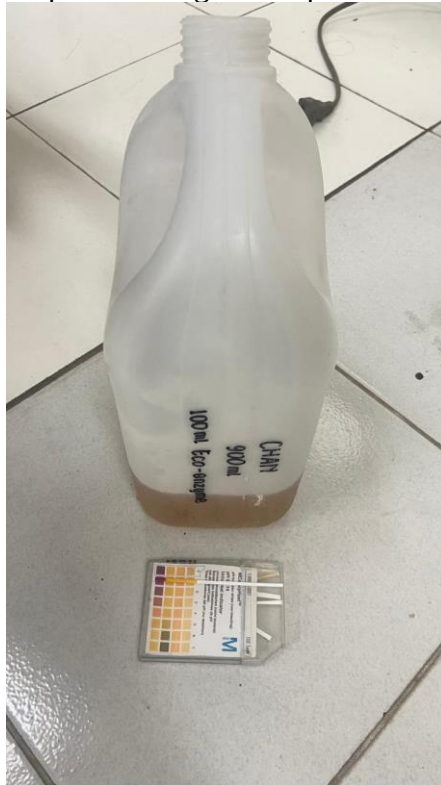
LAMPIRAN



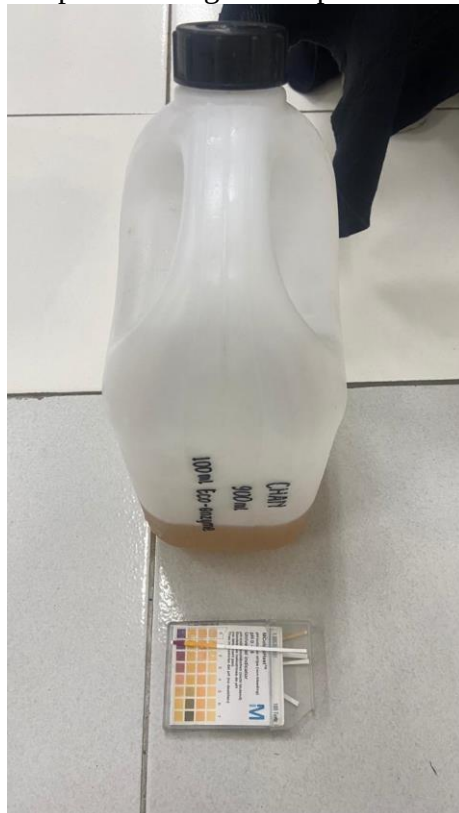
Lampiran 1. Penyaringan Limbah Laboratorium



Lampiran 2 Pengukuran pH hari ke-0



Lampiran 3 Pengukuran pH hari ke-1



Lampiran 4 Pengukuran pH hari ke-2



Lampiran 5 Pengukuran pH hari ke-3



Lampiran 6 Pengukuran pH hari ke-4



Lampiran 7 Pengukuran pH hari ke-5



Lampiran 8 Penyaringan setelah destruksi



Lampiran 9 Dihomogenkan setelah destruksi



Lampiran 10 Pembacaan AAS