

TUGAS AKHIR

**APLIKASI *ECO-ENZYME* SEBAGAI REKAYASA
TEKNOLOGI BERKELANJUTAN DALAM PENGOLAHAN
AIR LIMBAH INDUSTRI di YOGYAKARTA**

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



**ADFIRA RESTIYANA PUTRI
20513276**

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

TUGAS AKHIR

APLIKASI *ECO-ENZYME* SEBAGAI REKAYASA
TEKNOLOGI BERKELANJUTAN DALAM
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAHU di
YOGYAKARTA

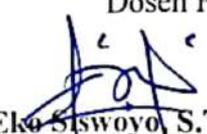
Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan



ADFIRA RESTIYANA PUTRI

20513276

Disetujui,
Dosen Pembimbing:


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

Tanggal : 21 Juni 2024

Mengetahui,*

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII



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

NIK.045130401

Tanggal : 21/6. 2024

HALAMAN PENGESAHAN*

APLIKASI *ECO-ENZYME* SEBAGAI REKAYASA
TEKNOLOGI BERKELANJUTAN DALAM
PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI TAHU di
YOGYAKARTA

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jumat
Tanggal : 21 Juni 2024

Disusun Oleh:

ADFIRA RESTIYANA PUTRI
20513276

Tim Penguji :

Penguji 1 Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES.,Ph.D.

Penguji 2 Any Juliani, S.T., M.Sc. (Res.Eng.), Ph.D.

Penguji 3 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. *(apabila menggunakan software khusus)*
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, 22 Juni 2024

Yang membuat pernyataan,



Adfira Restiyana Putri

NIM: 20513276

PRAKATA

Puji syukur atas kehadiran Allah *Subhanahu Wata'ala* yang telah memberikan Rahmat serta Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Aplikasi *Eco-Enzyme* Sebagai Rekayasa Teknologi Berkelanjutan Dalam Pengolahan Air Limbah Industri Tahu di Yogyakarta” dengan tepat waktu. Adapun tujuan dari penulisan laporan tugas akhir ini sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S1) pada Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyelesaian tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan arahan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES.,Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah meluangkan waktu untuk memberikan arahan, kritik serta saran kepada penulis dalam proses penulisan tugas akhir ini.
2. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D. dan Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc. Ph.D selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan saran dalam penulisan laporan agar lebih baik dan sempurna.
3. Para laboran yang telah membantu arahan dalam penelitian penulis selama di laboratorium.
4. Seluruh Dosen, Staff, dan Keluarga Besar Teknik Lingkungan UII yang telah memberikan pengetahuan dan informasi selama masa perkuliahan.
5. Ayah dan Ibu yang telah memberikan dorongan, bantuan, kasih sayang serta doa restu kepada penulis selama penyusunan tugas akhir.
6. Adik penulis Bintang Ahmad yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis.
7. Keluarga besar penulis yang senantiasa mendoakan dalam proses penyelesaian tugas akhir.

8. Sahabat perjuangan Verda, Fachra, Chan, Nida, Intan, Puja, Laila, Tiara, dan Ardi yang senantiasa memberikan bantuan dan semangat bagi penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
9. Seluruh pihak yang telah terlibat dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

Laporan tugas akhir ini tentu tidak luput dari kesalahan dan jauh dari kata sempurna. Penulis berharap kritikan maupun saran dapat disampaikan agar menjadi koreksi dan evaluasi bagi penulis. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca dan penelitian selanjutnya.

Yogyakarta, 22 Juni 2024

Adfira Restiyana Putri

ABSTRAK

ADFIRA RESTIYANA PUTRI. Aplikasi *Eco-Enzyme* Sebagai Rekayasa Teknologi Berkelanjutan Dalam Pengolahan Air Limbah Industri Tahu di Yogyakarta . Dibimbing oleh Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES.,Ph.D..

Industri tahu merupakan industri yang cukup banyak di Yogyakarta. Air limbah industri tahu memiliki kandungan pencemar yang cukup tinggi diantaranya yaitu COD dan BOD. Kandungan tersebut apabila tidak diolah terlebih dahulu akan menyebabkan pencemaran air dan sekitarnya. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menguji dosis *eco-enzyme* dari kulit buah nanas dan kulit buah jeruk yang paling efisien dalam penurunan kadar pencemar air limbah industri tahu untuk parameter COD dan BOD serta menentukan waktu yang efisien dalam pencampuran *eco-enzyme* untuk mengurangi kadar pencemar parameter COD dan BOD di air limbah industri tahu. *Eco-enzyme* merupakan cairan ekstrak yang diperoleh dari hasil fermentasi air, sisa sayuran, dan buah dengan tambahan gula. Dalam menguji parameter kualitas air limbah, akan dilakukan pengambilan sampel air limbah.ada SNI 6989.2:2019 tentang Cara Uji COD dengan Refluks Tertutup Secara Spektrofotometri dan SNI 6989.72:2009 Cara Uji BOD. Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari – Maret 2024 dengan hasil penelitian konsentrasi COD dan BOD awal yang diperoleh masing-masing sebanyak 10468 mg/L dan 5340 mg/L. Penambahan *eco-enzyme* 9%, 13% dan 27% terhadap air limbah diperoleh dosis yang paling efisien terjadi pada konsentrasi 13%. Pada hari ke 5, sisa konsentrasi COD sebesar 778 mg/L dengan efisiensi removal 92%. Sedangkan pada parameter BOD berhasil di dosis dengan konsentrasi *eco-enzyme* 27% Pada hari ke 7 yakni sebesar 172 mg/L atau efisiensi removal 97% .

Kata Kunci : Air Limbah, *Eco-enzyme*, Industri Tahu, COD, BOD

ABSTRACT

ADFIRA RESTIYANA PUTRI. *Application of Eco-Enzyme as Sustainable Technology Engineering in Tofu Industry Wastewater Treatment in Yogyakarta. Supervised by Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D..*

The tofu industry is quite a large industry in Yogyakarta. Tofu industrial wastewater contains quite high levels of pollutants, including COD and BOD. If this content is not processed first, it will cause water and surrounding pollution. This research was carried out with the aim of testing the most efficient dose of eco-enzyme from pineapple peel and orange peel in reducing pollutant levels in tofu industry wastewater for COD and BOD parameters and determining the efficient time for mixing eco-enzyme to reduce pollutant levels in these parameters. COD and BOD in tofu industrial wastewater. Eco-enzyme is a liquid extract obtained from the fermentation of water, vegetable, and fruit residues with added sugar. In testing waste water quality parameters, waste water samples will be taken. There is SNI 6989.2:2019 concerning How to Test COD with Closed Reflux Spectrophotometrically and SNI 6989.72:2009 How to Test BOD. This research was carried out in January – March 2024 with the initial COD and BOD concentration research results obtained being 10468 mg/L and 5340 mg/L respectively. By adding 9%, 13% and 27% eco-enzyme to wastewater, the most efficient dose was obtained at a concentration of 13%. On day 5, the remaining COD concentration was 778 mg/L with a removal efficiency of 92%. Meanwhile, the BOD parameter was successfully dosed with an eco-enzyme concentration of 27% on day 7, namely 172 mg/L or a removal efficiency of 97%.

Keywords: Wastewater, Eco-enzyme, Tofu Industry, COD, BOD

DAFTAR ISI

PERNYATAAN.....	4
PRAKATA.....	5
ABSTRAK.....	7
ABSTRACT.....	8
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	17
1.1 Latar Belakang.....	17
1.2 Perumusan Masalah.....	19
1.3 Tujuan Penelitian.....	20
1.4 Manfaat Penelitian.....	20
1.5 Asumsi Penelitian.....	20
1.6 Ruang Lingkup.....	21
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	23
2.1 Industri Tahu.....	23
2.1.1 Pembuatan Tahu.....	23
2.1.2 Proses Industri Air Limbah Tahu.....	25
2.2 Karakteristik Air Limbah Tahu.....	25
2.2.1 BOD.....	26
2.2.2 COD.....	26
2.2.3 pH.....	27
2.3 <i>Eco-Enzyme</i>	28
2.3.1 Pengertian <i>Eco-Enzyme</i>	28

2.3.2	<i>Eco-enzyme</i> dari Limbah Kulit Buah	29
2.3.3	Standar Pembuatan dan Mutu <i>Eco-Enzyme</i> yang Baik	30
2.4	Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu.....	31
2.5	Penelitian Terdahulu.....	31
BAB III	METODE PENELITIAN.....	35
3.1	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	35
3.1.1	Alat dan Bahan	35
a.	Alat	35
3.2	Prosedur Analisis Data	36
3.3.1	Variabel Penelitian	37
3.3.2	Pembuatan <i>Eco-enzyme</i>	37
3.3.3	Aplikasi <i>eco-enzyme</i> ke Dalam Air Limbah Tahu	38
3.3.4	Uji Laboratorium.....	38
3.3.5	Analisis Data	42
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1	Kualitas Air Limbah Tahu.....	44
4.2	Pengamatan Karakteristik <i>Eco-enzyme</i>	46
4.3	Pengujian Parameter Fisika dan Kimia	48
4.3.1	Warna dan Bau	48
4.3.2	pH (Tingkat Keasaman)	49
4.3.3	Analisis Penurunan COD dan BOD.....	51
BAB V	SIMPULAN DAN SARAN	60
5.1	Simpulan.....	60
5.2	Saran	60
	DAFTAR PUSTAKA	62
	LAMPIRAN	68

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu	31
Tabel 4. 1 Kualitas Sampel Sebelum Pengolahan	44
Tabel 4. 2 Hasil Pengamatan Nilai pH Selama 15 Hari	50
Tabel 4. 3 Konsentrasi BOD	55

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4. 1 Diagram Alir Proses Pembuatan Tahu (KLH, 2006)	45
Gambar 4. 2 Limbah Cair Tahu	45
Gambar 4. 3 Bentuk Gelembung Gas Saat Fermentasi	47
Gambar 4. 4 Perbedaan Warna Sampel di Tiap Konsentrasi	48
Gambar 4. 5 Konsentrasi pH Selama 15 Hari	50
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Penurunan COD	52
Gambar 4. 7 Grafik Penurunan BOD	55

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Pembuatan Eco-enzyme	68
Pengambilan Sampel	70
Pengujian COD.....	72
Pengujian BOD.....	79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara dengan kepadatan penduduk terbanyak keempat di dunia, Indonesia menghasilkan banyak jenis limbah dari hasil kegiatan masyarakat sehari-hari salah satunya adalah air limbah industri. Salah satu industri yang telah berdiri sejak lama di Indonesia yaitu industri tahu. Industri tahu umumnya belum memiliki sistem pengolahan air limbah yang baik karena keterbatasan anggaran, sehingga masih memanfaatkan teknologi yang sederhana. Air limbah industri tahu berasal dari proses pemasakan dan pencucian kedelai, pembersihan lantai serta peralatan proses. Karakteristik air yang dihasilkan memiliki warna putih keruh yang berisi bahan organik dari selaput lendir, kulit, dan bahan lainnya. Bau yang muncul pada air limbah industri tahu dikarenakan adanya mikroorganisme yang bertugas untuk mendekomposisi bahan organik sehingga menghasilkan reaksi kimia dan timbul suatu gas yang menjadi penyebab bau (Sayow et al., 2020). Sehingga jika air limbah industri tahu dibuang begitu saja dapat berpengaruh bagi lingkungan dan kesehatan, salah satunya yaitu pencemaran air. Terdapat berbagai jenis komponen pencemar air yaitu limbah organik, limbah anorganik, limbah padat, limbah cair minyak, limbah panas (polusi termal), dan limbah zat kimia (Wardhana, 2019.)

Karakteristik air limbah dapat dibagi menjadi tiga yakni kimia, fisika, dan biologi. Namun, pada industri biasanya hanya terdiri dari fisika dan kimia. Adapun untuk air limbah industri tahu meliputi parameter fisika seperti kekeruhan, bau, zat padat, dan sebagainya. Sedangkan parameter kimia terdiri dari kimia organik (*Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand* (COD)), *Dissolved Oxygen* (DO), nitrogen total, dan kimia anorganik (pH, Pb (Timbal), Fe (Besi), dan sebagainya) (Sayow et al., 2020). Parameter air limbah industri tahu yang akan dianalisis yaitu parameter BOD dan COD berdasarkan pada Peraturan Daerah DIY No.7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Pemilihan parameter BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen*

Demand) sebagai bahan penelitian dikarenakan kedua parameter tersebut merupakan parameter penting dalam menentukan kualitas air limbah industri tahu. Selain itu, parameter ini dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar kadar bahan organik yang berada dalam air limbah dan memberikan gambaran adanya jumlah oksigen yang digunakan dalam mendekomposisi pencemar di air limbah (Atima, 2015). Oleh karena itu, pengolahan air limbah industri perlu dilakukan guna mencegah risiko pencemaran yang berdampak pada kualitas hidup masyarakat.

Pengolahan air limbah merupakan salah satu kegiatan yang harus dilakukan oleh penghasil limbah dengan cara memurnikan air yang sudah tercemar oleh sisa zat limbah yang dihasilkan dari pabrik maupun rumah tangga (Askari, 2015). Teknologi pengolahan air limbah di Indonesia sudah cukup berkembang dengan cepat, baik pengolahan secara kimia, fisika, maupun biologi. Pengolahan kimia memiliki efektivitas penurunan kadar pencemar yang bagus, tetapi memiliki efek samping dari bahan, biaya, dan hasil olahannya seperti lumpur berbahaya. Begitupun dengan pengolahan air limbah secara biologi. Seperti teknologi pengolahan yang menggunakan proses biofilm menggunakan membran khususnya membran *bioreactor* (Askari, 2015). Dari kedua teknologi tersebut tentu memiliki hasil olahan berupa lumpur dan biaya yang cukup tinggi meskipun ada teknologi alternatif untuk mengurangi lumpur hasil lumpur tersebut.

Dengan kondisi tersebut, rekayasa pengolahan air limbah berkelanjutan seperti *eco-enzyme* dapat digunakan sebagai alternatif teknologi secara ekonomis dan efektif dalam penurunan kadar pencemar dari limbah domestik atau rumah tangga. Enzim memiliki peran penting bagi kehidupan manusia, Menurut Dinas Lingkungan Hidup Kota Cimahi pada tahun 2020, menyatakan bahwa *eco-enzyme* memiliki banyak manfaat seperti sebagai cairan pembersih, pupuk tanaman, pengusir hama, serta dapat melestarikan lingkungan. *Eco-enzyme* sendiri didapatkan dari hasil suatu fermentasi yang terdiri dari limbah organik seperti sisa buah maupun sayuran yang dicampur dengan gula dan air. Dengan masing-masing perbandingan gula, limbah buah, dan air yakni 1:3:10 (Verma et al., 2019).

Buah nanas dan jeruk banyak mengandung vitamin E, vitamin C, vitamin B12 dan kaya akan mineral (Verma et al., 2019). Selain itu, buah nanas dan jeruk juga

memiliki kandungan enzim seperti lipase yang berguna untuk menguraikan lemak dan minyak, enzim amilase membantu menguraikan karbohidrat dan enzim protease yang berfungsi untuk menguraikan protein dalam air limbah. Sehingga buah nanas dan jeruk digunakan dalam pembuatan eco-enzyme karena dapat mempercepat reaksi bio-kimia untuk menghasilkan enzim (Farma et al., 2021). Selain itu juga, Pemanfaatan limbah organik melalui eco-enzyme ini diharapkan dapat meminimalisir limbah rumah tangga yang Sebagian besar terdiri dari sisa makanan (Verma et al., 2019). Dalam penurunan limbah cair industri, beberapa penelitian juga telah menunjukkan bahwa penggunaan eco-enzyme dalam air limbah berfungsi dalam menurunkan kandungan parameter limbah yang tinggi seperti BOD, COD, Nitrat, dan Coliform (Kumar et al., 2019). Hal ini dikarenakan adanya sifat antibakteri, katalitik, dan asimilasi kimia yang terkandung dalam eco-enzyme (Farma et al., 2021). Pada penelitian ini, akan memanfaatkan kulit buah jeruk dan kulit buah nanas sebagai eco-enzyme untuk menurunkan kadar pencemar dalam air limbah. Pemanfaatan limbah organik ini diharapkan dapat meminimalisir limbah rumah tangga sekaligus dapat menurunkan parameter pencemar yang terkandung dalam air limbah industri tahu.

1.2 Perumusan Masalah

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

1. Berapakah dosis *eco-enzyme* dari kulit buah nanas dan kulit buah jeruk yang paling efisien dalam penurunan air limbah industri tahu untuk parameter BOD dan COD?
2. Pada waktu ke berapa pencampuran *eco-enzyme* yang paling efisien dalam penurunan air limbah industri tahu untuk parameter BOD dan COD?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Menguji dosis *eco-enzyme* dari kulit buah nanas dan kulit buah jeruk yang paling efisien dalam penurunan kadar pencemar air limbah tahu untuk parameter BOD dan COD.
2. Menentukan waktu pencampuran *eco-enzyme* yang paling efektif dalam penurunan kadar pencemar air limbah tahu untuk parameter BOD dan COD.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, maka manfaat dalam penelitian ini adalah:

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 di bidang teknik lingkungan dan kualitas air

1.5 Asumsi Penelitian

Asumsi yang dilakukan pada penelitian ini adalah air limbah tahu yang diberikan *eco-enzyme* kulit buah nanas dan jeruk mampu menurunkan parameter pencemar BOD dan COD dibandingkan dengan air limbah tahu yang tidak diberikan larutan *eco-enzyme*. Sehingga terbentuklah sebuah hipotesis sebagai berikut.

H_0 = Tidak terdapat perbedaan penurunan antara air limbah tahu yang diberikan *eco enzyme* kulit buah nanas dan jeruk dengan yang tidak diberi *Eco enzyme* kulit buah nanas dan jeruk.

H1 = Tidak terdapat perbedaan penurunan antara air limbah tahu yang diberikan *eco enzyme* kulit buah nanas dan jeruk dengan yang tidak diberi *eco enzyme* kulit buah nanas dan jeruk.

1.6 Ruang Lingkup

Batasan dan Ruang lingkup dari penelitian ini adalah :

1. Air Limbah Industri Tahu. Jenis limbah yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah air limbah industri tahu asli yang mengandung COD dan BOD.
2. Sampah Organik. Jenis sampah organik yang digunakan dalam pembuatan *eco enzyme* adalah nanas dan jeruk dengan masing-masing komposisi dan berat.
3. Fermentasi. Proses fermentasi digunakan dalam pembuatan *eco-enzyme* maupun saat pengaplikasian *eco-enzyme* terhadap sampel air limbah tahu.
4. Analisis Sampel.

Dilakukan 2 analisis sampel yakni sebagai berikut.

- a. Analisis Sampel Air Limbah Industri Tahu.

Melakukan analisis terhadap sampel uji yang telah diaplikasikan *eco-enzyme* selama 15 hari yang dilakukan secara berkala yakni pada hari ke 0,3,5,7,9,11,13 dan 15.

- b. Analisis Sampel *Eco-enzyme*.

Melakukan analisis terhadap sampel *eco-enzyme* yang telah dilakukan proses fermentasi. Waktu yang dibutuhkan untuk fermentasi yakni selama 3 bulan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Industri Tahu

Industri tahu merupakan salah satu industri yang bergerak dibidang pangan dengan menggunakan bahan baku kacang kedelai untuk memperoleh sumber protein di dalamnya(Samsudin et al., 2018). Industri tahu termasuk ke dalam industri kecil skala rumah tangga dan masih dilakukan menggunakan alat dan bahan yang tradisional. Sehingga, tidak terdapat sistem pengaturan limbah hasil dari proses pembuatan tahu (Yudhistira et al., 2018). Kawasan industri tahu biasanya terletak di pemukiman penduduk dan dikelola oleh suatu keluarga. Tenaga kerja yang diserap untuk memproduksi tahu biasanya hanya sedikit dan berasal dari anggota keluarga maupun lingkungan sekitarnya dan hanya memerlukan peralatan yang sederhana (Holle & Dewi, 2014). Industri tahu merupakan sektor industri informal yang dapat diakses dengan mudah terlebih lagi untuk tenaga kerja di Kawasan pedesaan, dimana umumnya tidak membutuhkan tingkat Pendidikan yang tinggi dalam sektor industri informal seperti industri tahu. Industri informal yang berbasis di pedesaan merupakan penyokong dalam perekonomian masyarakat. Dengan kehadiran industri kecil di pedesaan, mampu meningkatkan pertumbuhan perekonomian daerah dan juga meningkatkan kesejahteraan masyarakat (Bangun, 2021).

2.1.1 Pembuatan Tahu

Menurut (Djayanti, 2015) pada proses pembuatan tahu umumnya terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Pemilihan Kedelai

Proses pemilihan kedelai dilakukan dengan tujuan untuk memberikan kualitas kedelai yang baik dengan ciri-ciri seperti ukuran dan warna yang seragam terlihat mengkilat.

2. Penimbangan Kedelai

Proses penimbangan dilakukan sesuai dengan kapasitas kedelai yang dibutuhkan dalam satu kali proses pembuatan.

3. Pencucian dan Perendaman

Kegiatan pencucian dilakukan untuk melunakkan kedelai agar mudah saat masuk ke tahap penggilingan sehingga dapat menghasilkan suspensi bahan baku kedelai lebih baik pada waktu ekstraksi. Pada saat proses perendaman juga dilakukan untuk menghasilkan bubur kedelai dengan mudah dan kental. Perendaman ini dilakukan dengan air sebesar tiga kali dari berat kedelai yang sudah ditimbang dan direndam selama empat jam.

4. Penggilingan

Setelah proses perendaman, kemudian dilanjutkan dengan proses penggilingan menggunakan mesin penggiling dengan ditambahkan air sebesar dua kali dari berat kedelai.

5. Ekstraksi

Proses ekstraksi bertujuan untuk menguraikan protein kedelai agar mudah terbentuk padatan dengan cara menambahkan air mendidih sebesar enam kali dari berat kedelai dan diaduk hingga 10 menit.

6. Penyaringan

Kedelai yang telah melalui proses ekstraksi kemudian disaring hingga mendapatkan ampas kering dan disisihkan. Penyaringan ini dilakukan menggunakan kain yang dapat menghasilkan ampas tahu dan filtrat.

7. Pemasakan

Proses pemasakan dilakukan selama kurang lebih 30 menit dengan cara langsung memasukkan uap air bertekanan ke dalam filtrat.

8. Penggumpalan

Pemasakan yang telah dilakukan hingga 70 derajat celcius kemudian ditambahkan asam cuka untuk mengendapkan protein sehingga dapat memisahkan gumpalan dengan whey. Menurut (Kafadi, 1994) tujuan penambahan cuka pada saat pembuatan adalah untuk mengembangkan pati, meningkatkan kepadatan pati, dan mengikat pati.

9. Pemisahan gumpalan dan whey protein

Proses pemisahan ini dilakukan dengan cara memisahkan cairan yang berada di dalam saringan ke dalam wadah hingga hanya tersisa endapan yang akan dijadikan bahan utama tahu.

10. Pembungkusan

Endapan yang menjadi gumpalan protein tersebut dibungkus dengan kain dan dipadatkan hingga menjadi berbentuk kotak .

11. Pengepresan dan penggaraman

Setelah gumpalan menjadi padat kain bungkus dibuka dan ditiriskan untuk diberikan penambahan garam.

2.1.2 Proses Industri Air Limbah Tahu

Menurut (Samsudin et al., 2018), pada proses memproduksi tahu terdapat dua jenis limbah yakni limbah cair dan limbah padat. Limbah cair yang dihasilkan diperoleh dari sisa cairan dari kebutuhan tiap proses produksi dimulai dari pencucian kedelai, perebusan, perendaman, penyaringan, hingga pencucian alat yang digunakan pada saat produksi. Sedangkan limbah padat yang dihasilkan merupakan limbah yang berupa ampas kering yang biasa digunakan sebagai bahan pembuatan makanan seperti oncom dan pakan ternak.

Limbah cair tahu menghasilkan bau yang tidak sedap. Hal ini dikarenakan adanya pembusukan dari protein dan bahan organik lainnya sehingga menciptakan kandungan Hidrogen Sulfida (H_2S) dan Amonia. Akibatnya, dapat menimbulkan polutan organik tinggi serta mengganggu kesehatan terutama pada Indera penciuman (Samsudin et al., 2018)

2.2 Karakteristik Air Limbah Tahu

Kualitas air merupakan ukuran untuk melihat seberapa baik atau buruk kondisi air dalam hal kelayakan untuk tujuan tertentu. Parameter menjadi hal yang krusial untuk menentukan ada atau tidaknya pencemaran dalam suatu badan air.

Parameter ukur yang biasa digunakan untuk mengetahui kualitas air terdiri dari parameter biologi, fisika, dan kimiawi. Parameter biologi terdiri dari bakteri, plankton, dan sebagainya. Parameter fisika terdiri dari suhu, kekeruhan, padatan terlarut. Sedangkan, parameter kimiawi terdiri dari BOD, COD, pH, DO, dan sebagainya (Sandi, 2019). Beberapa karakteristik penting pada air limbah industri tahu antara lain sebagai berikut.

2.2.1 BOD

Menurut Metcalf & Eddy (1991) *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) merupakan karakteristik yang menunjukkan kadar oksigen terlarut yang dibutuhkan mikroorganisme dalam mengurai bahan organik yang berada di air dalam kondisi aerobik (Mays, 1996) menjelaskan bahwa BOD merupakan sebagai tolak ukur jumlah oksigen yang digunakan mikroorganisme sebagai respon masuknya bahan organik yang dapat diurai. BOD digunakan sebagai ukuran jumlah oksigen yang digunakan populasi mikroorganisme dalam perairan sebagai bentuk respon terhadap bahan organik terurai (Pungus et al., 2019).

Mengetahui jumlah BOD di dalam air dapat digunakan untuk memperoleh informasi terkait beban pencemaran yang berada di dalam air limbah. Nilai BOD dapat digunakan sebagai indikator kualitas air. Nilai BOD₅ dilakukan selama 5 hari untuk mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme serta menjadi indikator pencemaran air limbah. Kandungan BOD yang tinggi menunjukkan minimnya kadar oksigen terlarut. Air limbah dengan kandungan BOD yang tinggi tidak mampu menunjang kehidupan makhluk hidup yang memerlukan oksigen. Kandungan BOD yang lebih tinggi juga dapat mengakibatkan kondisi anaerobik dan terjadinya penipisan oksigen dari air limbah (Bhutiani et al., 2019). Sehingga, memerlukan oksigen yang tinggi untuk menurunkan kadar pencemar BOD.

2.2.2 COD

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan salah satu parameter penting dalam pengolahan air limbah karena menunjukkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik secara kimiawi. Nilai COD

digunakan sebagai ukuran tingkat pencemaran bahan organik. Kadar parameter COD dalam air limbah dapat berkurang seiring dengan berkurangnya kandungan organik yang berada di dalam limbah.

Dalam pengukuran COD dapat dikatakan lebih kompleks karena menggunakan peralatan khusus (Apha, 1989). Sehingga, dalam hasil pengujiannya nilai COD sedikit lebih lama dibandingkan BOD (Alaerts, G., & Santika, 1984). Kebutuhan oksigen kimia atau dikenal dengan COD merupakan adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik dalam satu liter sampel air, dan zat pengoksidasinya adalah $K_2Cr_2O_7$ atau $KMnO_4$. Nilai COD merupakan ukuran pencemaran air oleh zat organik yang teroksidasi secara alami oleh proses mikroba dan menyebabkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air.

2.2.3 pH

pH adalah ukuran yang digunakan untuk menentukan derajat keasaman maupun kebasaan dari suatu larutan. pH didefinisikan sebagai logaritma dari aktivitas ion hidrogen terlarut. Menurut (Zulius, 2017) koefisien aktivitas ion hidrogen tidak dapat diukur secara eksperimental, sehingga nilai berdasarkan perhitungan teoritis adalah . Skala pH bukanlah skala mutlak. Konsep pH pertama kali diperkenalkan pada tahun oleh ahli kimia Denmark Søren Peder Lauritz Sørensen. Arti singkatan "p" dalam "pH" tidak diketahui secara pasti. Beberapa referensi menyarankan bahwa p berasal dari singkatan kinerja p (peringkat), yang lain mengacu pada bahasa Jerman Potenz (juga berarti peringkat), Ada juga yang juga merujuk pada kata hubungan potensial. Jens Norby menerbitkan sebuah makalah pada tahun 2000 di mana ia berpendapat bahwa p adalah konstanta yang berarti "logaritma negatif" (Zulius, 2017)

Air limbah industri bersifat asam karena nilai pH-nya yang tinggi. Kondisi asam ini memudahkan penguapan zat-zat yang mudah menguap. Hal ini menimbulkan bau tidak sedap pada air limbah pabrik tahu. Nilai pH mempunyai pengaruh yang besar terhadap proses penjernihan air. Nilai pH 6 hingga 9 merupakan standar kualitas air yang baik. Jika pH terlalu rendah, konsentrasi oksigen terlarut akan turun. Oleh karena itu, sebelum melakukan pengolahan limbah

perlu dilakukan pengecekan nilai pH dan penambahan larutan untuk mencapai nilai pH optimum.

2.3 *Eco-Enzyme*

2.3.1 Pengertian *Eco-Enzyme*

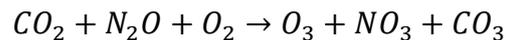
Eco-enzyme merupakan cairan ekstrak yang diperoleh dari hasil fermentasi sisa sayuran dan buah dengan tambahan gula. *Eco-enzyme* mempunyai dampak positif terhadap lingkungan, Proses produksi *eco-enzyme* cukup menghemat biaya, dan berbentuk cairan yang mudah digunakan. Hanya gula, air, dan sampah organik dari buah-buahan dan sayuran yang digunakan dalam produksi enzim ramah lingkungan. *Eco-enzim* membantu mengurangi jumlah sampah organik yang dibuang dari rumah tangga, namun komposisinya masih tinggi (Mardiani et al., 2021).

Eco-enzyme bermula dari seorang peneliti dan pemerhati lingkungan yang berasal dari Thailand yakni Dr. Rosukon Poompanvong. Inovasi ini memberikan distribusi yang cukup besar bagi lingkungan. Dr. Rosukon juga menjalin kerja sama dengan petani di Thailand hingga Eropa untuk menghasilkan produk tani yang bermutu dan ramah lingkungan dengan mendirikan Asosiasi Pertanian Organik. Dari usaha tersebut mendapatkan penghargaan oleh FAO Thailand pada tahun 2003 (Vika et al., 2020).

Pada dasarnya, *eco-enzyme* mempercepat reaksi bio-kimia di alam untuk menghasilkan enzim yang berguna dengan memanfaatkan sampah buah atau sayuran. Enzim yang dihasilkan dari fermentasi ini adalah salah satu cara manajemen limbah yang memanfaatkan sisa-sisa dapur untuk menghasilkan sesuatu yang sangat bermanfaat. *Eco-Enzyme* dapat dijadikan cairan multifungsi dan aplikasinya meliputi rumah tangga, pertanian, peternakan, dan bahkan pada bidang kesehatan.

Selama proses pembuatan *eco-enzyme*, proses tersebut menghasilkan beberapa senyawa kimia sebelum akhirnya terbentuk enzim yang akan digunakan

untuk mengolah air limbah. Pada bulan pertama *eco-enzyme* membentuk alkohol, kemudian bulan kedua menghasilkan cuka hingga di bulan ketiga membentuk enzim. Selain menghasilkan enzim, pada proses fermentasi juga menghasilkan gas O₃ (Ozon). Pembentukan ozon pada proses fermentasi *eco-enzyme* dapat dilihat dari reaksi sebagai berikut.



Terbentuknya cairan yang berwarna coklat gelap merupakan hasil akhir dari proses fermentasi secara sempurna (Rochyani et al., 2020).

2.3.2 *Eco-enzyme* dari Limbah Kulit Buah

Pemanfaatan kulit buah menghasilkan pupuk yang memiliki banyak manfaat bagi pertanian. Limbah kulit buah yang paling banyak dijumpai adalah kulit pisang, kulit mangga, kulit naga, dan kulit jeruk. Kulit masing-masing buah ini mengandung khasiat yang berbeda-beda, sehingga *eco-enzyme* yang dihasilkan memiliki kandungan spesifik. Kulit pisang mengandung 4.444 senyawa organik, termasuk magnesium, natrium, fosfor, dan belerang (Sitepu et al., 2022). Kulit buah mangga mengandung metabolit sekunder seperti vitamin A, AHA, vitamin E, flavonoid, vitamin C, dan betakaroten, serta berpotensi menjadi sumber antioksidan (Noviyanty et al., 2021). Buah naga mengandung antioksidan, serat, vitamin C, mineral, kalsium, dan fosfor (Jalgaonkar et al., 2022). Serta kulit jeruk mengandung komponen seperti vitamin C, antioksidan, flavonoid, β -karoten, dan hesperidin (Dewi et al., 2021).

Adapun jenis buah seperti manggis, sawo, durian, salak, nangka, dan kelengkeng tidak dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan *eco-enzyme* karena memiliki tekstur kulit yang kering, keras, dan memiliki banyak getah. Jenis kulit buah dengan ciri-ciri tersebut dapat mengganggu proses fermentasi yang dapat berubah menjadi pembusukan (Pebrianti & Wulan, 2022). Kandungan *eco-enzyme* yang berasal dari buah yang mengandung asam sitrat yang dapat memecah molekul organik tak larut menjadi larut (Samiksha & Kerkar, 2020). Selain itu juga memiliki kandungan enzim seperti lipase yang berguna untuk menguraikan lemak dan minyak, enzim amilase membantu menguraikan karbohidrat, dan enzim protease

yang berfungsi untuk menguraikan protein dalam air limbah. Sehingga buah nanas dan jeruk digunakan dalam pembuatan *eco-enzyme* karena dapat mempercepat reaksi bio-kimia untuk menghasilkan enzim (Farma et al., 2021). *Eco-enzyme* dalam air limbah berfungsi dalam menurunkan kandungan parameter limbah yang tinggi seperti BOD, COD, Nitrat, dan Coliform (Kumar et al., 2019). Hal ini dikarenakan adanya sifat antibakteri, katalitik, dan asimilasi kimia yang terkandung dalam *eco-enzyme* (Farma et al., 2021),

2.3.3 Standar Pembuatan dan Mutu *Eco-Enzyme* yang Baik

Prinsip dalam pembuatan *eco-enzyme* mirip dengan proses pembuatan kompos hanya saja ada media untuk pertumbuhan yaitu dengan ukuran perbandingan air (10):sampah organik (3): Gula merah (1) dengan waktu fermentasi selama 3 bulan (Verma et al., 2019). Dalam pembuatan *eco-enzyme* diperlukan gula yang dapat menghasilkan banyak volume larutan *eco-enzyme* seperti gula merah. Pemilihan gula merah dibandingkan dengan gula pasir karena pada penelitian (Pebrianti & Wulan, 2022) gula merah memiliki kandungan sukrosa lebih besar sekitar 84% lebih tinggi jika dibandingkan dengan gula pasir. 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)

Menurut (Suyasa, 2015) kriteria kualitas *eco-enzim* yang baik dan memenuhi syarat adalah *eco-enzim* dengan pH di bawah 4, ciri khas warna kecoklatan, dan aroma khas segar dan asam. fermentasi. *Eco Enzyme* mengandung asam asetat yang dapat membunuh bakteri, virus, dan kuman penyebab infeksi. Memiliki kandungan tripsin, lipase, dan amilase yang mampu mencegah berkembangnya bakteri patogen. Mengandung NO_3 (nitrat) dan CO_3 (karbon trioksida) yang dibutuhkan tanah sebagai unsur hara (Rochyani et al., 2020)

2.4 Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu

Setiap air limbah yang dihasilkan industri tahu memiliki baku mutu air yang telah diatur oleh pemerintah sebelum memasuki air sungai. Oleh karena itu, perlu adanya pengolahan lebih lanjut dalam menangani air limbah yang dihasilkan. Salah satunya menggunakan instalasi pengolahan air limbah (IPAL). Baku mutu air limbah industri tahu telah diatur dalam Peraturan Daerah DIY No. 7 Tahun 2016 dengan yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu

Parameter	Satuan	Baku Mutu Peraturan Daerah DIY no.7 Tahun 2016
pH	-	9.00
BOD	mg/L	150 mg/l
COD	mg/L	300 mg/L
TSS	mg/L	200 mg/L

Sumber: (Peraturan Daerah DIY, 2016)

2.5 Penelitian Terdahulu

1. Hasil Penelitian (Widyastuti, Sutrisno, et al., 2023)

Penelitian berjudul “*Eco Enzim untuk Pengolahan Air Limbah*” bertujuan untuk mengkaji eco enzim dari limbah buah dan sayur untuk menurunkan BOD, COD, dan TSS pada air limbah industri tahu dengan menentukan waktu dan dosis yang tepat untuk penurunan parameter yang diuji.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan eco enzim dari kulit sayur dan buah yang paling efektif untuk menurunkan parameter BOD, COD, dan TSS yakni dengan penambahan 10% dengan memiliki waktu tinggal 20 hari. Penurunan tertinggi masing-masing parameter yakni BOD sebesar 79,75%, COD sebesar 41,38%, dan TSS sebesar 77,45%.

2. Hasil Penelitian (Wikaningrum & El Dabo, 2022)

Penelitian berjudul “*Eco-Enzyme* Sebagai Rekayasa Teknologi Berkelanjutan Dalam Pengolahan Air Limbah” bertujuan untuk mengkaji potensi dari *eco-enzyme* yang terbuat dari sampah organik buah nanas dalam mengurangi konsentrasi amonia dalam air limbah sebagai alternatif teknologi rekayasa berkelanjutan dengan bantuan analisis statistik uji t

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *eco* enzim dari sampah organik buah nanas mampu menurunkan konsentrasi amonia dalam sampel air, hasil uji t menunjukkan P (two tail) sebesar 0.047 (<0.05) dan didukung dengan analisis linearitas dengan nilai multiple R sebesar 97.3 %.

3. Hasil Penelitian (Nazurahani et al., 2022)

Penelitian berjudul “Pembuatan *Eco-enzyme* sebagai Upaya Pengolahan Limbah Rumah Tangga” bertujuan untuk membandingkan uji organoleptik dan hedonik yoghurt original dengan yoghurt bubuk kulit manggis dan limbah organik berupa kulit jeruk, kulit buah pepaya, kulit nanas, dan kulit semangka.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses fermentasi *eco-enzyme* dapat memengaruhi aroma, volume, dan warna. Larutan yang menggunakan lima jenis limbah buah menghasilkan energi dari penguraian senyawa organik oleh mikroorganisme. Sedangkan warna yang dihasilkan bergantung dari gula aren. *eco-enzyme* yang bagus mempunyai kadar pH < 4 atau $= 4$.

4. Hasil Penelitian (Gaspersz & Fitrihidajati, 2022)

Penelitian berjudul “*Pemanfaatan Ekoenzim Berbahan Limbah Kulit Jeruk dan Kulit Nanas sebagai Agen Remediasi LAS Detergen*” bertujuan untuk mengetahui karakteristik *eco-enzyme* berbahan limbah kulit jeruk dan kulit nanas, pengaruh *eco-enzyme* dalam menurunkan kadar LAS dan kualitas air, serta konsentrasi *eco-enzyme* yang optimal dalam menurunkan kadar LAS dan kualitas air.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil fermentasi *eco-enzyme* yang dilakukan memengaruhi karakteristik, pH, suhu, BOD, TDS, dan DO. Kulit nanas memiliki pH sebesar 3,69, suhu sebesar 26,8, dan TDS sebesar 1308 ppm. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa proses fermentasi *eco-enzyme* mempengaruhi perubahan karakteristik *eco-enzyme*. Kulit nanas memiliki rerata pH 3,69, suhu 26,8°C, dan TDS 1308 ppm. Penggunaan *eco-enzyme* dengan Konsentrasi 5% menunjukkan hasil yang paling optimal. Akan tetapi, hasil tersebut masih di atas baku mutu yang telah ditentukan yakni 3 ppm.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium kualitas air UII dengan pengambilan sampel air limbah di Pabrik Tahu Sumedang yang beralamat di Pager Jurang, Kepuharjo, Kec. Cangkringan, Kabupaten Sleman, Yogyakarta. Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan yaitu 3 bulan (Oktober 2023-Desember 2023) untuk pembuatan *eco-enzyme*, persiapan bahan dan alat, dan mengumpulkan kajian literatur. Kemudian, 3 bulan berikutnya (Januari 2024-Maret 2024) dilakukan untuk uji laboratorium, pencatatan data, pengamatan, pengolahan data, analisis data, serta penyusunan laporan hasil uji penelitian. Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Kualitas Air di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

3.1.1 Alat dan Bahan

a. Alat

1. Wadah sampel uji
2. Timbangan analitik dengan ketelitian 0,1 mg
3. Spektrofotometer UV Visible
4. Kuvet
5. Pipet ukur 5 mL dan 10 mL
6. Gelas ukur 100 mL dan 1000 mL
7. Gelas Beaker 100 mL
8. Erlenmeyer 250 mL
9. Botol winkler 100 mL
10. Penjepit
11. Kaca arloji
12. Tabung Refluks
13. Wadah Tabung
14. Buret

15. pH Universal

16. Pompa vacum

b. Bahan.

1. Air

2. Gula

3. Kulit jeruk dan kulit nanas

4. Larutan Sulfat Pekat

5. Larutan Indikator

6. Larutan Na₂SO₃

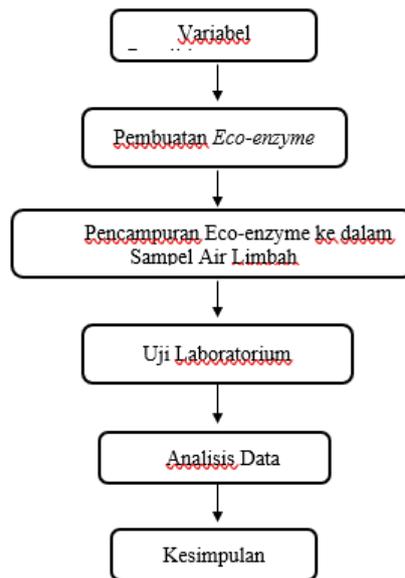
7. Larutan MnSO₄

8. Larutan Asam Sulfat (H₂SO₄)

9. Larutan Digestion

3.2 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 industri tahu. Adapun langkah-langkah dalam menganalisis data sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Analisis Penelitian

3.3.1 Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini yaitu bebas dan terikat. Variabel bebas merupakan dosis dan waktu yang paling efektif yang digunakan dalam penelitian. Sedangkan parameter BOD dan COD dalam air limbah merupakan variabel terikat. Hal ini dikarenakan hasil akhir dalam penurunan parameter dipengaruhi oleh dosis dan waktu.

3.3.2 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 sebanyak 12 liter, bahan organik yang telah dipotong kecil sebanyak 3,6 kg (kulit jeruk 1,8 kg dan kulit nanas 1,8 kg) dan gula merah sebanyak 1,2 kg. Semua bahan yang telah dimasukkan ke dalam wadah uji diaduk hingga rata dan ditutup rapat dan disimpan pada ruangan yang memiliki sirkulasi udara baik. Selama masa fermentasi, tutup wadah dibuka dan ditutup kembali guna mengeluarkan gas yang dihasilkan selama proses berlangsung. Proses buka-tutup wadah uji dilakukan selama setiap hari di minggu pertama

kemudian di minggu selanjutnya dilakukan buka-tutup wadah uji selama 2 hari sekali.

Dalam memastikan terbentuknya produk *eco-enzyme*, maka akan dilakukan pengujian organoleptik yakni pengujian yang dilakukan dengan cara mengamati perubahan karakteristik pada *eco-enzyme* melalui penginderaan. Karakteristik yang dimaksud pada pengujian ini adalah volume, aroma, warna, dan pH. *Eco-enzyme* yang baik akan menghasilkan warna cokelat tua, berbau asam dan manis yang segar serta memiliki kadar air yang tinggi (Novianti & Muliarta, 2021)

3.3.3 Aplikasi *eco-enzyme* ke Dalam Air Limbah Tahu

Setelah *eco-enzyme* terbentuk akan dilakukan penyaringan dari ampas kulit buah untuk mendapatkan larutan *eco-enzyme*. Selanjutnya, larutan tersebut dicampurkan dengan air limbah tahu untuk dilakukan analisis kualitas air limbah terhadap parameter BOD dan COD. Analisis dilakukan dengan menyiapkan botol yang berisi sampel air limbah tahu sebanyak 100 mL kemudian ditambahkan larutan *eco-enzyme* dengan variasi dosis konsentrasi 9%, 13%, dan 27% di botol yang telah berisi sampel air limbah, dengan pengamatan perubahan konsentrasi BOD dan COD terhadap waktu. Kemudian sampel diambil pada hari ke-0, 3, 5, 7, 9, 11, dan 15. Pengujian ini dilakukan selama 2 kali pengulangan, sehingga data yang akan didapatkan merupakan nilai rata-rata yang diperoleh. Pengujian parameter BOD sesuai SNI 06-6989.72-2009 dan parameter COD menggunakan metode spektrofotometri sesuai SNI 6989.2:2019.

3.3.4 Uji Laboratorium

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

- 1) BOD akan diuji sesuai SNI 06-6989.72-2009 (Badan Standardisasi Nasional, 2009).
 - a. Pengambilan contoh uji
 - b. Penyimpanan contoh

- c. Persiapan pengujian
- d. Pengaturan pH
 - 1) Kondisikan contoh uji pada suhu $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$
 - 2) Lakukan pengukuran pH contoh, jika nilainya tidak dalam kisaran 6,0-8,0, atur pH pada kisaran tersebut dengan penambahan larutan H_2SO_4 , atau NaOH .
 - 3) Penambahan asam atau basa tidak boleh mengakibatkan pengenceran lebih dari 0,5%
- e. Pengujian
 - 1. siapkan 2 buah botol DO, tandai masing-masing botol dengan notasi A₁;A₂
 - 2. Masukkan larutan contoh uji ke dalam masing-masing botol DO A₁, dan A₂ sampai meluap, kemudian tutup masing masing botol secara hati-hati untuk menghindari terbentuknya gelembung udara;
 - 3. Lakukan pengocokan beberapa kali, kemudian tambahkan air bebas mineral pada sekitar mulut botol DO yang telah ditutup,
 - 4. Simpan botol As dalam lemari inkubator $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 5 hari:
 - 5. Lakukan pengukuran oksigen terlarut terhadap larutan dalam botol A, dengan alat DO meter yang terkalibrasi sesuai dengan Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition, 2005: Membrane electrode method (4500-0 G) atau dengan metoda titrasi secara iodometri (modifikasi Azida) sesuai dengan SNI 06-6989.14-2004.
 - 6. Hasil pengukuran, merupakan nilai oksigen terlarut nol hari (A₁).
 - 7. Pengukuran oksigen terlarut pada nol hari harus dilakukan paling lama 30 menit setelah pengenceran.
 - 8. Ulangi pengerjaan pengujian butir 5 untuk botol A, yang telah diinkubasi 5 hari + 6 jam.

9. Hasil pengukuran yang diperoleh merupakan nilai oksigen terlarut 5 hari (A)
10. Lakukan pengerjaan pengujian butir 1 sampai 6 untuk penetapan blanko dengan menggunakan larutan pengencer tanpa contoh uji. Hasil pengukuran yang diperoleh merupakan nilai oksigen terlarut nol hari (B) dan nilai oksigen terlarut 5 hari
11. Lakukan pengerjaan butir 1 sampai 6 untuk penetapan kontrol standar dengan menggunakan larutan glukosa-asam glutamate.
12. Hasil pengukuran yang diperoleh merupakan nilai oksigen terlarut nol hari (C) dan nilai oksigen terlarut 5 hari (C2):
13. Lakukan kembali pengerjaan butir 1 sampai butir 6 terhadap beberapa macam pengenceran contoh uji.
14. Perhitungan nilai BOD5 dilakukan dengan rumus berikut ini.

$$BOD5 = \frac{(A1 - A2) - \left(\frac{B1-B2}{VB}\right) Vc}{P}$$

Keterangan:

BOD5 adalah nilai BOD5 contoh uji (mg/L)

A1 adalah kadar oksigen terlarut sebelum inkubasi (0 hari)(mg/L).

A2 adalah kadar oksigen terlarut setelah inkubasi (5 hari)(mg/L).

B1 adalah kadar oksigen terlarut blanko sebelum inkubasi (0 hari)(mg/L).

B2 adalah kadar oksigen terlarut blanko setelah inkubasi (5 hari)(mg/L).

VB adalah volume suspensi mikroba dalam botol DO blanko

Vc adalah volume suspensi mikroba dalam botol contoh uji (mL).

P adalah perbandingan volume contoh uji V1 per V2.

- 2) COD akan diuji menggunakan metode refluks tertutup secara spektrofotometri sesuai SNI 6989.2:2019 (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Adapun Langkah-langkahnya sebagai berikut.

- a. Proses digestion
 1. Menyiapkan pipet volume sampel, menambahkan *digestion solution* kemudian menambahkan larutan pereaksi asam sulfat tang ke dalam tabung refluks.
 2. Menutup tabung dan kocok hingga homogen.
 3. Meletakkan tabung pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150 derajat celcius, kemudian melakukan refluks dengan waktu 2 jam.
- b. Pembuatan kurva kalibrasi
 1. Menghidupkan alat dan mengoptimalkan alat uji spektrofotometer sesuai aturan penggunaan alat untuk pengujian COD. Mengatur panjang gelombangnya pada 600 nm atau 420 nm.
 2. Mengukur serapan masing-masing larutan kerja lalu mencatat dan plotkan dengan kadar COD.
 3. Periksa kondisi alat jika koefisien regresi linier (r) < 0.995 . Kemudian mengulangi perhitungan hingga mencapai nilai koefisien (r) < 0.995 .
- c. Pengukuran contoh uji
 1. Dinginkan perlahan contoh yang sudah direfluks sampai suhu tuang untuk mencegah terbentuknya endapan. Jika perlu, saat pendinginan sesekali tutup contoh dibuka untuk mencegah adanya tekanan gas.
 2. Biarkan suspensi mengendap dan memastikan bagian yang akan diukur benar-benar jernih.
 3. Mengukur serapan contoh uji pada panjang gelombang yang telah ditentukan (420 nm)
 4. Menghitung kadar COD berdasarkan persamaan linier kurva kalibrasi
 5. Melakukan Analisa secara duplo.

3.3.5 Analisis Data

Analisis data ini menggunakan metode statistik deskriptif. 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 parameter BOD dan COD melalui *eco-enzyme* pada limbah industri. Analisis kemampuan *eco-enzyme* yang terbuat dari kulit jeruk dan nanas untuk menghilangkan parameter air limbah nitrat 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)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kualitas Air Limbah Tahu

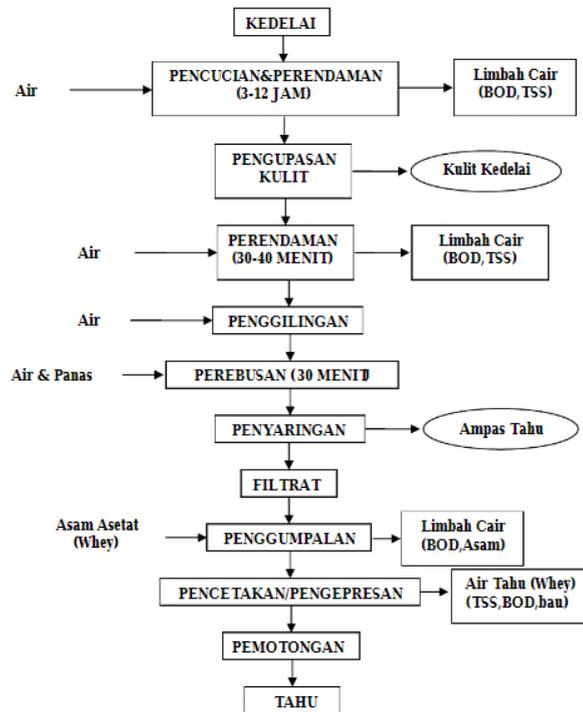
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan UII dengan pengambilan sampel di satu titik lokasi yang berada di Pabrik Tahu Sumedang dengan koordinat Lat -7.63037 dan Long 110.44596° pada hari Senin, 15 Januari 2024 Jam 12.53 WIB. Pengambilan sampel ini bertujuan untuk menganalisis kadar BOD dan COD dengan menggunakan *eco-enzyme*. Pada Tabel 2 ini menunjukkan kualitas sampel limbah cair tahu sebelum diberikan perlakuan *eco-enzyme*.

Tabel 4. 1 Kualitas Sampel Sebelum Pengolahan

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi	Baku Mutu*
1	BOD	mg/L	5340	150
2	COD	mg/L	10468	300
3	pH	-	6	6-9

* (Peraturan Daerah DIY, 2016)

Adapun limbah cair yang dihasilkan dari proses pembuatan tahu secara detail dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini(KLH, 2006)



Gambar 4. 1 Diagram Alir Proses Pembuatan Tahu (KLH, 2006)

Kondisi air limbah tahu yang diambil pada penelitian ini memiliki suhu cukup tinggi, karena limbah cair tersebut diperoleh dari proses akhir pembuatan tahu sebelum pemotongan. Limbah cair tahu juga memiliki warna kuning muda dan terdapat sisa ampas tahu berwarna putih yang tidak tersaring dapat dilihat dalam gambar 3 berikut ini.



Gambar 4. 2 Limbah Cair Tahu

Limbah cair tahu pada saat pengambilan sampel memiliki bau busuk, karena berasal dari pemecahan protein yang mengandung sulfat tinggi oleh

mikroba. Selain itu, padatan terlarut yang tidak lolos saat penyaringan menyebabkan limbah cair tersebut menjadi keruh. Zat organik dan non organik tersuspensi juga menyebabkan limbah cair tahu berubah menjadi emulsi keruh (Samsudin et al., 2018). Apabila konsentrasi zat tersuspensi semakin tinggi, maka limbah cair akan semakin keruh.

4.2 Pengamatan Karakteristik *Eco-enzyme*

Penelitian ini menggunakan *eco-enzyme* yang berasal dari campuran limbah kulit jeruk dan kulit nanas. Limbah kulit buah tersebut dipotong menjadi kecil supaya pada saat fermentasi akan mempermudah bakteri untuk melakukan aktivitas dekomposisi. Kemudian dimasukkan ke dalam wadah kosong tertutup dan ditambahkan gula merah sebagai makanan maupun sumber energi bakteri dan air dengan memiliki perbandingan ukuran perbandingan air (10): sampah organik (3): Gula merah (1). Dengan menggunakan air 1,2 liter : bahan organik (kulit jeruk 1,8 kg : kulit nanas 1,8 kg) : gula merah 1,2 kg. Selanjutnya, wadah yang telah berisi campuran tersebut dihomogenkan dan ditutup rapat. Kemudian disimpan pada tempat yang minim sinar matahari secara langsung.

Fermentasi ini dilakukan selama 3 bulan. Pada minggu pertama, wadah dipantau dan dibuka secara berkala untuk mengeluarkan gas yang berada di dalam wadah serta menghindari adanya ledakan karena tekanan gas yang berada di dalam wadah. Setelahnya, setiap 2 hari sekali dilakukan pembukaan tutup toples hingga di bulan ketiga berguna untuk mengeluarkan gas yang dihasilkan, dilakukan dengan pembukaan tutup botol sekitar 15 menit Gambar 4 menunjukkan adanya gelembung gas yang muncul pada pengamatan minggu pertama.



Gambar 4. 3 Bentuk Gelembung Gas Saat Fermentasi

Setelah fermentasi selama 3 bulan dapat dilihat bahwa cairan *eco-enzyme* memiliki warna coklat dan memiliki aroma asam manis khas fermentasi (Putra & Suyasa, 2022). pH *eco-enzyme* yang terbentuk cenderung asam karena dilihat dari bahannya yakni kulit jeruk dan kulit nanas serta adanya proses fermentasi sehingga pH yang terbentuk setelah 3 bulan mengalami fermentasi yakni 4. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yakni secara kimia *eco-enzyme* mempunyai sifat asam dengan pH 3-4 (Rochyani et al., 2020). Hasil pengamatan ini juga didukung penelitian lain yang menunjukkan semakin tinggi asam organik yang terkandung di dalamnya, maka semakin rendah pH *eco-enzyme* yang didapat karena asam organik menjadi indikator tingkat keasaman pH (Rasit et al., 2019) Asam organik ini terbentuk pada saat fermentasi yang dilakukan selama 3 bulan. Pada *eco-enzyme* juga terdapat asam asetat yang berasal dari metabolisme bakteri limbah kulit buah secara anaerobik. Kandungan asam asetat terdapat dalam *eco-enzyme* yang berasal dari proses fermentasi gula menjadi alkohol sehingga menghasilkan bau khas pada *eco-enzyme*. Kemudian alkohol tersebut diubah menjadi asam asetat yang berwarna kuning dan beraroma asam (Samriti et al., 2019). Sedangkan menurut (Nugrahani et al., 2021) asam asetat didapat dari proses fermentasi buah yang memiliki karbohidrat tinggi. Oleh karena itu, *eco-enzyme* memiliki pH yang rendah dikarenakan adanya kandungan asam sitrat dan asetat yang tinggi (Etienne et al., 2013). Kandungan BOD dan COD dalam *eco-enzyme* memiliki

kadar masing-masing 861 mg/L dan 3290 mg/L. Pada penelitian sebelumnya karakterisasi *eco-enzyme* memiliki kadar BOD dan COD masing-masing sebesar 60 mg/L dan 13100 mg/L(Widiani & Novitasari, 2023).

4.3 Pengujian Parameter Fisika dan Kimia

Sampel limbah cair tahu ditambah dengan *eco-enzyme* sebanyak 9%, 13%, dan 27% dilakukan pengujian warna, bau, pH, BOD, dan COD di Laboratorium Kualitas Lingkungan UII. Hasil pengujian menunjukkan adanya perubahan dan penurunan pada tiap parameter uji.

4.3.1 Warna dan Bau

Penelitian ini dimulai dari hari ke-0 hingga hari ke-15, kondisi fisik yang mulai terlihat dari awal yakni warna sampel air limbah tanpa perlakuan *eco-enzyme* memiliki warna putih keruh. Sedangkan, Ketika sampel ditambahkan *eco-enzyme* dengan konsentrasi yang berbeda-beda menunjukkan warna kuning yang cenderung mirip.



Gambar 4. 4 Perbedaan Warna Sampel di Tiap Konsentrasi

Gambar 5 di atas menunjukkan bahwa adanya perbedaan antara sampel yang diberikan *eco-enzyme* dengan sampel tanpa *eco-enzyme*. Terlihat untuk sampel air limbah dengan penambahan konsentrasi *eco-enzyme* yang berbeda memiliki warna yang berbeda pula. Semakin tinggi konsentrasi *eco-enzyme* yang ditambahkan semakin pekat warna kuning yang dihasilkan.

Bau yang dihasilkan sampel air limbah tanpa *eco-enzyme* seiring dengan berjalannya waktu memiliki aroma busuk. Pada sampel dengan penambahan *eco-enzyme* 9%, 13% dan 27% menimbulkan bau asam atau aroma bahan organik dan segar khas *eco-enzyme*. Warna yang terlihat dalam sampel tanpa *eco-enzyme* dengan bening, namun untuk sampel yang ada penambahan *eco-enzyme* konsentrasi 9% berwarna kuning bening, untuk konsentrasi 13% dan 27% berwarna kuning namun lebih keruh dibanding 9%.

Bau yang ditimbulkan berasal dari sumber dengan pertumbuhan suatu algae dan suatu kontaminan di air limbah oleh bahan organik yang mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme air (Suyasa, 2015). Warna kuning pada sampel disebabkan oleh adanya penambahan *eco-enzyme* yang sebelumnya memiliki warna cokelat. Warna berasal dari kekeruhan dari limbah dengan penanda adanya mikroorganisme dalam jumlah besar (Sucipto, 2019).

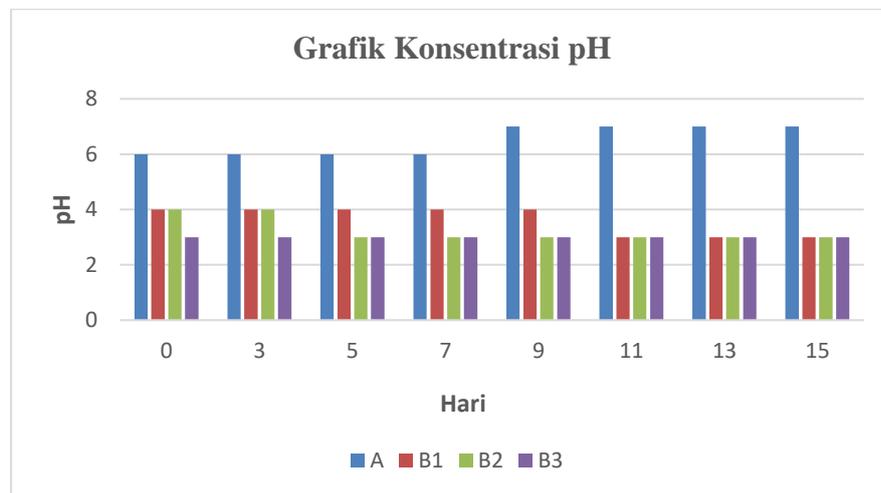
4.3.2 pH (Tingkat Keasaman)

Penelitian ini menggunakan *eco-enzyme* yang memiliki pH sebanyak 4. Sampel limbah cair yang diberikan perlakuan *eco-enzyme* memiliki tingkat keasaman yang cukup mirip dengan *eco-enzyme* yakni berkisar 3-4. Sedangkan untuk sampel limbah cair tahu memiliki pH sebesar 7. Pada Peraturan Daerah DIY No 07 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri Tahu untuk nilai pH yaitu 6-9. Tabel 3 menunjukkan nilai pH dari hari ke-0 hingga hari ke-15.

Tabel 4. 2 Hasil Pengamatan Nilai pH Selama 15 Hari

Hari Ke-	AQ	A	B1	B2	B3
0	6	6	4	4	3
3		6	4	4	3
5		6	4	3	3
7		6	4	3	3
9		7	4	3	3
11		7	3	3	3
13		7	3	3	3
15		7	3	3	3

(Sumber: Data primer, 2024)



Gambar 4. 5 Konsentrasi pH Selama 15 Hari

Keterangan:

- AQ = Aquades
- A = Sampel tanpa *eco-enzyme*
- B1 = Sampel + *eco-enzyme* 9%
- B2 = Sampel + *eco-enzyme* 13%
- B3 = Sampel + *eco-enzyme* 27%

Berdasarkan hasil data yang tertera pada gambar 6 di atas menunjukkan pH air limbah tahu pada sampel A di hari ke-0 sampai dengan hari ke-15 memiliki nilai rata-rata pH sebesar 6,5. Kemudian sampel B1 yakni dengan penambahan *eco-enzyme* 9% memiliki nilai pH dengan rata-rata

sebesar 3,6. Sedangkan nilai rata-rata pH pada sampel B2 yakni dengan penambahan dengan penambahan *eco-enzyme* 13% memiliki nilai 3,2 dan untuk sampel B3 yakni dengan dengan penambahan *eco-enzyme* 27% memiliki rata-rata nilai pH sebesar 3. Dari data tersebut, sampel A yang tidak diberikan *eco-enzyme* memiliki nilai pH yang memenuhi baku mutu. Sedangkan untuk sampel B1, B2, dan B3 memiliki nilai pH yang tidak memenuhi baku mutu sehingga berisiko mencemari lingkungan.

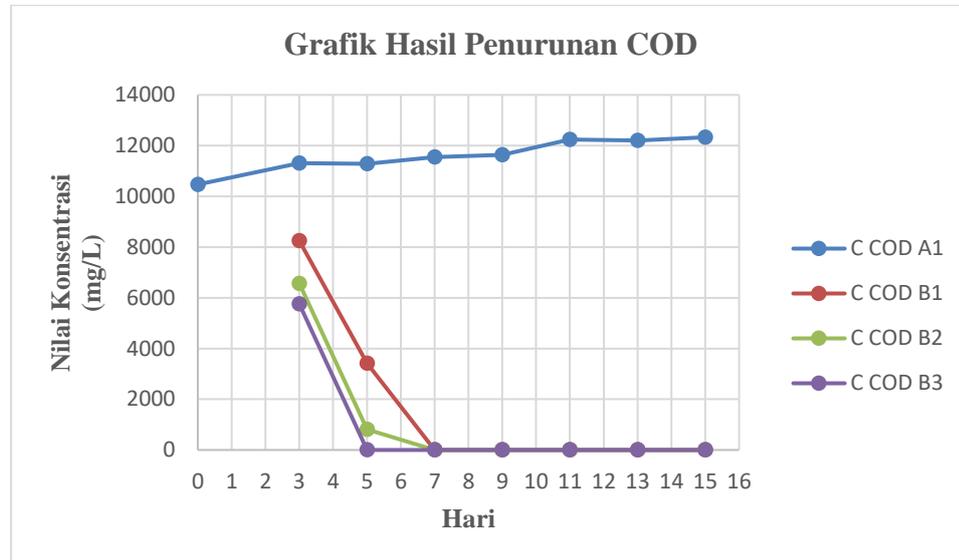
Nilai pH rendah pada sampel yang diberikan *eco-enzyme* dipengaruhi oleh adanya campuran asam dari *eco-enzyme* yang menyebabkan pH sampel tidak memenuhi baku mutu. *Eco-enzyme* yang diencerkan dapat mempengaruhi kenaikan pH menuju netral (Rani et al., 2020). *Eco-enzyme* sendiri mengandung asam organik yang terbentuk pada saat fermentasi Pada *eco-enzyme* juga terdapat asam asetat yang berasal dari metabolisme bakteri limbah kulit buah secara anaerobik (Etienne et al., 2013). Kandungan asam asetat terdapat dalam *eco-enzyme* berasal dari proses perubahan gula menjadi alkohol akan menghasilkan bau khas pada *eco-enzyme*. Kemudian alkohol tersebut diubah menjadi asam asetat yang berwarna kuning dan beraroma asam (Samriti et al., 2019). Sedangkan menurut (Nugrahani, 2021) asam asetat didapat dari proses fermentasi buah yang memiliki karbohidrat tinggi. Hal tersebut yang menyebabkan kadar pH turun menjadi asam. Pada penelitian (Rochyani et al., 2020) juga menjelaskan bahwa *eco-enzyme* yang diencerkan memiliki pH menuju netral jika dibandingkan dengan *eco-enzyme* murni dan bersifat asam. Pada penelitian sebelumnya juga menyatakan bahwa nilai pH setelah ditambahkan *eco-enzyme* yaitu 5. Sedangkan pH yang berasal dari limbah cair tahu lebih tinggi yakni dengan pH 8 (Salma, 2022).

4.3.3 Analisis Penurunan COD dan BOD

- COD

Hasil pengamatan karakterisasi pada COD menunjukkan kategori yang tinggi untuk sampel tanpa penambahan *eco-enzyme*, hal ini sejalan dengan penelitian (Rasit et al., 2019) yakni nilai COD yang dihasilkan memiliki

parameter tinggi, COD adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi jumlah total bahan organik, dimana parameter utama yang digunakan untuk menentukan kandungan organik dalam sampel air.



Gambar 4. 6 Grafik Hasil Penurunan COD

Keterangan:

- AQ = Aquades
- A = Sampel tanpa *eco-enzyme*
- B1 = Sampel + *eco-enzyme* 9%
- B2 = Sampel + *eco-enzyme* 13%
- B3 = Sampel + *eco-enzyme* 27%

Dari gambar 7 menunjukkan adanya pengaruh *eco-enzyme* terhadap COD. Semakin lama *eco-enzyme* didiamkan bersama air limbah penurunan COD semakin tinggi. Banyaknya konsentrasi *eco-enzyme* yang ditambahkan mulai dari 9% sampai dengan 13% pada sampel juga menunjukkan adanya penurunan. Penurunan kadar COD tertinggi terjadi pada sampel dengan penambahan *eco-enzyme* 27% pada hari ke-5 yakni 100%. Sedangkan pada hari ke-5 di konsentrasi 9% dan 13% masing-masing memiliki kemampuan menurunkan sebesar 70% dan 93%.

- Perhitungan Kadar COD

$$\frac{Abs - Intersep}{Slope} \times Fp$$

$$\text{Hari ke-3 (A)} = \frac{0,037 - 0,15196}{-0,001667} \times 100 = 10378 \text{ mg/L}$$

$$\text{Hari ke-3 (B1)} = \frac{0,087 - 0,15196}{-0,001667} \times 100 = 8338 \text{ mg/L}$$

- Efisiensi Removal

$$\text{Eff} = \frac{Ci - Ce}{Ci} \times 100\%$$

$$\text{Hari ke-3 (B1)} = \frac{10378 - 8338}{10378} \times 100\% = 20\%$$

$$\text{Hari ke-3 (B3)} = \frac{10378 - 5938}{10378} \times 100\% = 43\%$$

Dari gambar 7 dapat dilihat pada hari ke 7 sampai dengan hari ke 15 menghasilkan nilai COD 0 mg/L. Hasil data yang memiliki nilai 0 memiliki arti bahwa nilai yang didapatkan < LoD (3,246 mg/L) dan LoQ (10,821 mg/L). Penurunan kadar COD yang cukup signifikan dalam penelitian ini disebabkan oleh adanya kandungan asam yang terdapat pada *eco-enzyme*. Asam volatile yang dihasilkan *eco-enzyme* dalam proses fermentasi berasal dari perombakan karbohidrat (gula merah) sedangkan asam organik yang menjadi larutan enzim diperoleh dari proses ekstraksi kulit buah. Proses ekstraksi ini melibatkan mikroorganisme yang terdapat pada gula merah dan kulit buah pada saat fermentasi. Namun, aktivitas mikroorganisme dalam larutan *eco-enzyme* dapat berkembang dengan baik bergantung pada kondisi lingkungan pertumbuhan mikroorganisme

Eco-enzyme yang terdapat pada kulit buah jeruk dan nanas terdiri dari beberapa rantai protein berupa enzim, asam organik, dan garam mineral yang berfungsi untuk menyusun, mengurai, dan mengkatalisis (Widyastuti et al., 2023). Reaksi degradasi yang dilakukan oleh *eco-enzyme* dapat terjadi karena adanya

kandungan enzim seperti amilase, protease, dan lipase yang berperan sebagai katalisator bahan organik kompleks (Rochyani et al., 2020). Dalam penelitian (Widyastuti et al., 2023) juga menjelaskan bahwa cairan *eco-enzyme* memiliki mikroba aktif yang mengeluarkan enzim ekstraseluler untuk mengkatalisis pencernaan senyawa tertentu agar dapat diolah mikroba sebagai sumber energi dalam pertumbuhannya. Sehingga bahan organik menjadi mudah larut melalui pengolahan anaerobik dan menghasilkan senyawa lebih sederhana (Widyastuti et al., 2023). Enzim yang bekerja sebagai katalisator mempercepat laju reaksi sehingga energi aktivasi menurun dan membentuk kompleks dengan substrat. Setelah menghasilkan produk, enzim dilepaskan dan membentuk substrat lain dengan kompleks baru (Widyastuti et al., 2023).

Reaksi kinerja enzim yang bekerja sebagai katalis biologis hanya mampu mengkatalisis molekul substrat (Verma et al., 2019). Adanya perubahan ikatan ion dapat mengurangi fungsi katalitik sehingga menyebabkan aktivitas menjadi lebih tinggi dan mencapai pH 7. Akan tetapi, pada *eco-enzyme* yang terbuat dari kulit buah nanas memiliki aktivitas amilase yang berbeda. Pada saat pH 3,5 enzim amilase memiliki aktivitas yang lebih tinggi. Namun, apabila enzim amilase berada di pH 7 cenderung memiliki aktivitas yang lebih rendah. Kemungkinan ini disebabkan adanya sifat katalitik yang dimiliki bersifat asam. Dengan kondisi tersebut, enzim amilase dapat beraktivitas lebih tinggi. Aktivitas dari lipase biasanya memiliki kondisi stabil pada pH 2-9 dengan suhu ruangan. Struktur lipase terdiri dari susunan permukaan alkil yang disebut sebagai hidrofobik kuat. Sehingga aktivitas lipase tertinggi terjadi pada pH 8 (Samriti et al., 2019).

Jika dilihat dari baku mutu kadar COD pada (Peraturan Daerah DIY, 2016) di suatu air limbah sebesar 300 mg/L. Kadar COD air limbah tahu tidak memenuhi persyaratan karena terjadi peningkatan setiap harinya. Sedangkan untuk penambahan *eco-enzyme* di sampel 9%, 13% dan 27% dapat menurunkan kadar COD hingga 100% dan mampu memenuhi standar baku mutu. Sehingga nilai konsentrasi COD aman untuk dibuang menuju air permukaan atau sungai.

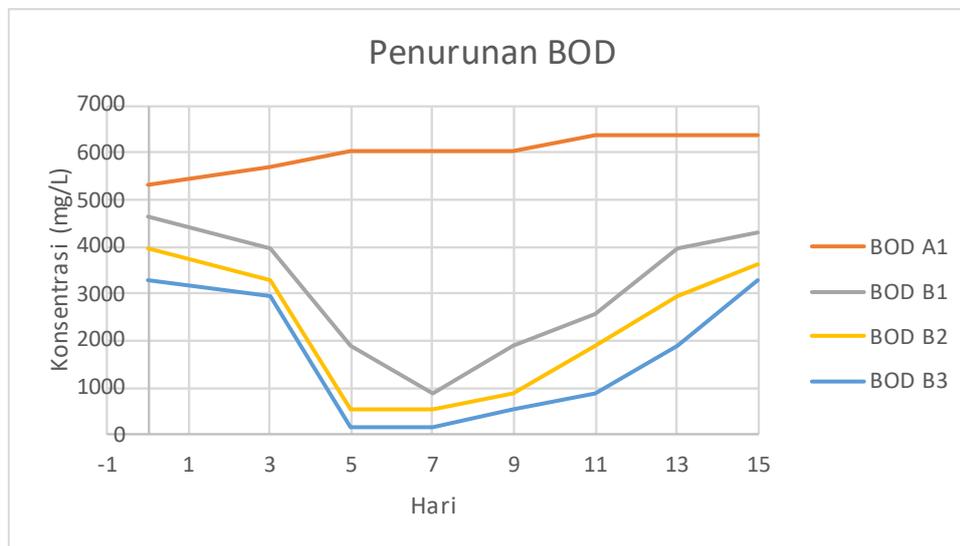
- BOD

Hasil pengamatan pada BOD menunjukkan kategori yang tinggi untuk sampel tanpa penambahan *eco-enzyme*. Pengamatan ini didapatkan dari pengujian BOD dengan menggunakan titrasi yang mengacu pada SNI 06-6989.72-2009 Tabel 4 menunjukkan adanya penurunan konsentrasi BOD dari hari ke-0 hingga hari ke-15.

Tabel 4. 3 Konsentrasi BOD

Hari	Konsentrasi BOD			
	A1	B1	B2	B3
0	5340	4651	3962	3273
3	5684	3962	3273	2928
5	6029	1895	517	172
7	6029	861	517	172
9	6029	1895	861	517
11	6373	2584	1895	861
13	6373	3962	2928	1895
15	6373	4306	3617	3273

(Sumber: Data Primer, 2024)



Gambar 4. 7 Grafik Penurunan BOD

Keterangan:

- A = Sampel tanpa *eco-enzyme*
- B1 = Sampel + *eco-enzyme* 9%
- B2 = Sampel + *eco-enzyme* 13%

$$B3 = \text{Sampel} + \text{eco-enzyme } 27\%$$

Berdasarkan hasil pengujian, penurunan sampel limbah dengan ditambahkan *eco-enzyme* sebanyak 27% memiliki penurunan paling tinggi yakni dimana BOD menurun dari 5340 mg/L menjadi 172 mg/L. Sehingga efisiensi removal yang didapat yakni 39% Hal ini sejalan dengan penelitian, Dalam penelitian terdahulu yang telah dilaksanakan oleh (Hemalatha & Visantini, 2020) penurunan kadar BOD terdapat penurunan sebesar 70% dari hasil awal yaitu 80mg/L menjadi 22.3mg/L. Hasil penurunan konsentrasi BOD tersebut menandakan bahwa kandungan bahan organik yang terdapat di dalam air limbah bersifat dapat terdegradasi secara biologis / *biodegradable* (Mega, 2013). Mikroorganismenya bersifat mendegradasi buangan organik sehingga semakin banyak buangan yang terdegradasi, maka semakin banyak mikroorganismenya yang muncul (Gufran & Mawardi, 2019).

- Perhitungan Kadar BOD

$$BOD5 = \frac{(A1 - A2) - \left(\frac{B1-B2}{VB}\right) Vc}{P}$$

$$\text{Hari ke-0 (A)} = \frac{(5.86-0.35)-\left(\frac{6.89-6.54}{100}\right) \times 50}{0.001} = 5340\text{mg/L}$$

$$\text{Hari ke-0 (B1)} = \frac{(5.16-0.35)-\left(\frac{6.89-6.54}{100}\right) \times 50}{0.001} = 4651\text{mg/L}$$

- Efisiensi Removal

$$\text{Eff} = \frac{Ci - Ce}{Ci} \times 100\%$$

$$\text{Hari ke-0 (B1)} = \frac{5340-4651}{5340} \times 100\% = 13\%$$

$$\text{Hari ke-0 (B3)} = \frac{5340-3273}{5340} \times 100\% = 39\%$$

Hasil konsentrasi nilai BOD yang menurun menjadi indikator bahwa adanya aktivitas bakteri asam laktat (*Lactobacillus* sp) yang berasal dari *eco-enzyme* dengan proses fermentasi bahan organik dari limbah kulit jeruk dan nanas menjadi senyawa asam laktat yang dapat mempercepat perombakan bahan organik (Nurrahmani et al., 2023). Selain itu juga, asam laktat dapat mengubah kandungan bahan organik menjadi senyawa organik yang lebih sederhana. Hasil proses tersebut membuat penguraian cenderung lebih cepat. dengan adanya proses penguraian ataupun perombakan senyawa organik menghasilkan senyawa yang lebih sederhana, sehingga secara tidak langsung akan menurunkan konsentrasi kandungan BOD dalam air limbah (Sari et al., 2018). Pada penelitian kadar BOD untuk air limbah laundry juga mengalami penurunan akibat penambahan *eco-enzyme* yang mampu menguraikan bahan pencemar. Penelitian ini juga diperkuat oleh (Gaspersz & Fitrihidajati, 2022) bahwa adanya nilai BOD yang rendah karena adanya residu zat organik dalam jumlah sedikit. Jumlah BOD merupakan indikator oksigen yang diperlukan untuk menguraikan bahan pencemar. Apabila bahan pencemar di dalam air sedikit, maka oksigen yang diperlukan juga sedikit. Hal inilah yang menyebabkan nilai BOD sedikit.

Seiring dengan pencampuran *eco-enzyme* pada air limbah, konsentrasi BOD mengalami kenaikan. Waktu detensi yang semakin lama juga memberikan pengaruh terhadap pengurangan bahan organik, sehingga tingkat efisiensi penurunan BOD dengan meningkat. Hal tersebut sejalan dengan penelitian dari (Dayanti & Herlina, 2018) yang menyatakan bahwa lamanya waktu detensi yang dibutuhkan *eco-enzyme* memberikan waktu untuk mikroba yang terdapat pada lapisan biofilm untuk memperbanyak jumlahnya dengan memanfaatkan kandungan beban organik pada air limbah. Peningkatan pertumbuhan bakteri asam laktat secara optimum sangat dipengaruhi oleh peningkatan waktu inkubasi, kelembaban, cahaya, pH, suhu serta nutrisi. Asam laktat memiliki suhu optimum pada 30-37°C, Suhu sangat mempengaruhi mikroorganismenya. Mikroorganismenya dapat tumbuh dengan cepat apabila metabolismenya mengalami kenaikan. Sebaliknya jika suhu mengalami penurunan metabolismenya juga akan menurun dan pertumbuhan mikroorganismenya

melambat dan berhenti. Akibatnya, komponen sel bakteri asam laktat menjadi mati dan tidak aktif (Ayuti et al., 2016).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Konsentrasi COD dan BOD yang terkandung pada air limbah pabrik tahu Sumedang berada pada batas baku mutu yang ada yakni Peraturan Daerah DIY no. 7 tahun 2016 yaitu 300 mg/L dan 150 mg/L, sedangkan kadar parameter COD dan BOD yang terukur sebesar 10468 mg/L dan 5340 mg/L. Dengan adanya penambahan koagulan *eco-enzyme* dapat menurunkan kadar COD yang ada di air limbah, dalam konsentrasi 9% , 13% dan 27% .

Dalam jangka waktu 0 hingga 15 hari. Dosis yang efisien dalam penambahan *eco-enzyme* terdapat pada konsentrasi 13% untuk menurunkan kadar COD hingga mencapai 778 mg/L di hari ke- 5. Sedangkan parameter BOD dapat diturunkan pada hari ke 7 sebesar 172 mg/L dengan konsentrasi 27%. Sehingga efisiensi removal yang didapat untuk masing-masing kadar COD dan BOD yakni 92% dan 97% .

5.2 Saran

Penggunaan *eco-enzyme* dalam penurunan parameter pencemar air limbah dapat menjadi salah satu solusi untuk mengurangi permasalahan sampah yang ada. Kulit buah yang diolah menjadi *eco-enzyme* dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Dari penelitian ini, penulis berharap apabila ada yang ingin melakukan pembuatan *eco-enzyme* untuk air limbah dapat melakukan variasi konsentrasi yang berbeda agar dapat mengetahui kondisi yang paling efektif dari sekian variabel yang ada serta dapat memerhatikan suhu dan pH *eco-enzyme* dengan cara mengencerkan dan menetralkan pH terlebih dahulu agar saat pencampuran dengan sampel limbah tidak mengalami penurunan pH yang signifikan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G., & Santika, S. S. (1984). *Metode Penelitian Air*. Usaha Nasional.
- Apha. (1989). *Standard methods for the examination of waters and wastewater* (17th ed.). American Public Health.
- Askari, H. (2015). Perkembangan Pengolahan Air Limbah. *Carbon (TOC)*, 200(135), 1–10. https://www.researchgate.net/profile/Haris-Askari-2/publication/287791837_Perkembangan_Pengolahan_Air_Limbah/links/56794bc208ae6041cb49f352/Perkembangan-Pengolahan-Air-Limbah.pdf
- Atima, W. (2015). Bod Dan Cod Sebagai Parameter Pencemaran Air Dan Baku Mutu Air Limbah. *Biosel: Biology Science and Education*, 4(1), 83. <https://doi.org/10.33477/bs.v4i1.532>
- Ayuti, S. R., Nurliana, N., Yurliasni, Y., Sugito, S., & Darmawi, D. (2016). Dinamika Pertumbuhan *Lactobacillus casei* dan Karakteristik Susu Fermentasi Berdasarkan Suhu dan Lama Penyimpanan. *Jurnal Agripet*, 16(1), 23–30. <https://doi.org/10.17969/agripet.v16i1.3476>
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). Air dan air limbah-Bagian 72: Cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (Biochemical Oxygen Demand/ BOD). *Sni 06-6989.72-2009*, 1–20.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Air dan air limbah - Bagian 2: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri. *Sni 06-6989.2-2019*, 1–10.
- Bangun, U. (2021). Peran Pabrik Tahu dalam Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat pada LInggungan VIII Kelurahan Pekan Kuala Kecamatan Kuala Kabupaten Langkat. *Jurnal Wahana Inovasi*, 10(1), 1–7.
- Bhutiani, R., Rai, N., Sharma, P. K., Rausa, K., & Ahamad, F. (2019). Phytoremediation efficiency of water hyacinth (*E. crassipes*), canna (*C. indica*) and duckweed (*L. minor*) plants in treatment of sewage water. *Environment Conservation Journal*, 20(1&2), 143–156. <https://doi.org/10.36953/ecj.2019.1008.1221>
- Dayanti, M. S., & Herlina, N. (2018). Studi Penurunan Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Air Limbah Domestik Buatan Menggunakan Biofilter Aerob Tercelup dengan Media Bioring. *Jurnal Dampak*, 15(1), 31. <https://doi.org/10.25077/dampak.15.1.31-36.2018>
- Dewi, S. P., Devi, S., & Ambarwati, S. (2021). Pembuatan dan Uji Organoleptik Eco-enzyme dari Kulit Buah Jeruk. *Seminar Nasional & Call for Paper Hubisintek 2021*, 649–657.
- Djayanti, S. (2015). Study of the Application of Cleaner Production in the Tofu Industry in Jimbaran, Bandungan, Central Java. *Jurnal Riset Teknologi Pencegahan Pencemaran Industri*, 6(2), 75–80.
- Etienne, A., Génard, M., Lobit, P., Mbéguié-A-Mbéguié, D., & Bugaud, C. (2013). What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of Experimental Botany*, 64(6), 1451–1469.

<https://doi.org/10.1093/jxb/ert035>

- Farma, S. A., Handayani, D., Putri, I. L. E., & Putri, D. H. (2021). Pemanfaatan Sisa Buah dan Sayur sebagai Produk ECOBY Ecoenzyme di Kampus Universitas Negeri Padang. *Suluah Bandang: Jurnal Ilmiah Pengabdian Kepada Masyarakat*, 21(2), 81. <https://doi.org/10.24036/sb.01180>
- 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>
- Gufran, M., & Mawardi, M. (2019). Dampak Pembuangan Limbah Domestik terhadap Pencemaran Air Tanah di Kabupaten Pidie Jaya. *Jurnal Serambi Engineering*, 4(1), 416. <https://doi.org/10.32672/jse.v4i1.852>
- Hemalatha, M., & Visantini, P. (2020). Potential use of eco-enzyme for the treatment of metal based effluent. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 716(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/716/1/012016>
- Holle, F. R., & Dewi, R. M. (2014). Pengembangan Industri Kecil Tahu Pada Sentral Industri Tahu Dan Tempe Desa Sepande Kecamatan Candi Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Ilmiah*, 2(3), 1–15.
- Jalgaonkar, K., Mahawar, M. K., Bibwe, B., & Kannaujia, P. (2022). Postharvest Profile, Processing and Waste Utilization of Dragon Fruit (*Hylocereus* Spp.): A Review. *Food Reviews International*, 38(4), 733–759. <https://doi.org/10.1080/87559129.2020.1742152>
- Kafadi, N. M. (1994). *Memproduksi Tahu Secara Praktis*. Karya Anda - Surabaya.
- KLH. (2006). *Hasil Limbah Industri Tahu*. Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Kumar, N., Rajshree, Y. A., Yadav, A., Himani Malhotra, N., Gupta, N., & Pushp, P. (2019). Validation of eco-enzyme for improved water quality effect during large public gathering at river bank. *International Journal of Human Capital in Urban Management*, 4(3), 181–188. <https://doi.org/10.22034/IJHCUM.2019.03.03>
- Mardiani, I. N., Nurhidayanti, N., & Huda, M. (2021). Sosialisasi Pemanfaatan Limbah Organik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Eco Enzim Bagi Warga Desa Jatireja Kecamatan Cikarang Timur Kabupaten Bekasi. *Pelita Bangsa*, 42–47.
- Mays, L. W. (1996). *Water Resources Handbook*. McGraw Hill.
- Mega, F. A. I. Z. T. A. (2013). Pengolahan Limbah Cair Domestik Dengan Biofilter Aerob Menggunakan Media Bioball Dan Tanaman Kiambang. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v1i1.4028>
- Nazurahani, A., Pasaribu, R. N. C., & Ningsih, A. P. (2022). Pembuatan Ecoenzym Sebagai Upaya Pengolahan Limbah Rumah Tangga. *Jurnal Pendidikan Pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam Indonesia (JPPIPAI)*, 2(1), 16–22. <http://jurnal.unimed.ac.id>
- Noviyanty, Y., Hepiyansori, H., & Insani, T. D. (2021). Uji Aktivitas SENYAWA FLAVONOID DARI EKSTRAK ETANOL KULIT BUAH MANGGA (*Mangifera indica* L.) TERHADAP BAKTERI STAPHYLOCOCCUS AUREUS. *Oceana Biomedicina Journal*, 4(1), 38–52.

<https://doi.org/10.30649/obj.v4i1.67>

- Nugrahani, H. N., Apriyani, I., & Bahri, S. (2021). Analisis Kadar Asam Asetat Hasil Fermentasi Buah Kedondong (*Spondias dulcis* Parkinson) dengan Metode Titrasi Alkalimetri. *Sainstech Farma*, 14(2), 97–101. <https://doi.org/10.37277/sfj.v14i2.1013>
- Nurfajriah, 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.
- Pebrianti, T., & Wulan, A. (2022). Pemanfaatan Kulit Buah Sebagai Bahan Baku Eco-Enzyme di Dusun Demungun. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*.
- Peraturan Daerah DIY. (2016). Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah. *Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Air Limbah*, 1–53. <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/11581>
- Pungus, M., Palilingan, S., & Tumimomor, F. (2019). Penurunan Kadar BOD Dan COD Dalam Limbah Cair Laundry Menggunakan Kombinasi Adsorben Alam Sebagai Media Filtrasi. *Fullerene Journ. Of Chem*, 4(2), 54–60.
- Putra, I. G. N. B. S. D., & Suyasa, I. N. G. (2022). Perbedaan Kualitas Cairan Eco Enzyme Berbahan Dasar Kulit Jeruk, Kulit Mangga Dan Kulit Apel. *Jurnal Skala Husada: The Journal of Health*, 19(1), 1–4. <https://doi.org/10.33992/jsh:tjoh.v19i1.1847>
- Rani, A., Negi, S., Hussain, A., & Kumar, S. (2020). Treatment of Urban Municipal Landfill Leachate Utilizing garbage Enzyme. *Journal Bioresource Technology*, 297.
- Rasit, N., Hwe Fern, L., & Azlina Wan Ab Karim Ghani, W. (2019). Production and Characterization of Eco Enzyme Produced From Tomato and Orange Wastes and Its Influence on the Aquaculture Sludge. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 10(3), 967–980.
- 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>
- Salma, N. . (2022). Pengaruh penambahan Bakteri *Acetobacter Xylinum* Terhadap Kualitas Produk Eco-Enzyme. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 105–113.
- Samiksha, M., & Kerkar, S. (2020). Application of Eco-Enzyme for Domestic Waste Water Treatment. *International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM)*, 05(11), 2454–9150. <https://doi.org/10.35291/2454-9150.2020.0075>
- Samriti, Sarabhai, S., & Arya, A. (2019). Garbage enzyme: A study on compositional analysis of kitchen waste ferments. ~ 1193 ~ *The Pharma Innovation Journal*, 8(4), 1193–1197. www.thepharmajournal.com

- Samsudin, W., Selomo, M., & Natsir, M. . (2018). Processing of Industrial Liquid Waste to Be Liquid Organic Fertilizer with Addition of Effective Microorganism-4 (Em-4). *Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan*, *1*(2), 1–14. <https://journal.unhas.ac.id/index.php/jnik/article/view/5990>
- Sari, K. T., As, A. Z., & Hardiono. (2018). Penurunan Kadar BOD, COD, dan TSS Pada Limbah Tahu Menggunakan Effective Mikroorganism-4 (EM4) Secara Aerob. *Analytical Biochemistry*, *11*(1), 1–5. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-7%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024%0Ahttps://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103%0Ahttp://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/>
- Sayow, F., Polii, B. V. J., Tilaar, W., & Augustine, K. D. (2020). Analisis Kandungan Limbah Industri Tahu Dan Tempe Rahayu Di Kelurahan Uner Kecamatan Kawangkoan Kabupaten Minahasa. *Agri-Sosioekonomi*, *16*(2), 245. <https://doi.org/10.35791/agrsosek.16.2.2020.28758>
- Sitepu, D. N., M. Sholihah, S., & Wahyuningrum, M. A. (2022). Pengaruh Konsentrasi Nutrisi AB Mix dan Pupuk Organik Cair Kulit Pisang Kepok Terhadap Produksi Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.) Sistem Rakit Apung. *Jurnal Ilmiah Respati*, *13*(2), 174–188. <https://doi.org/10.52643/jir.v13i2.2707>
- Sucipto, C. D. (2019). *Kesehatan Lingkungan*. Gosen Publishing.
- Suyasa, W. B. (2015). Pencemaran Air & Pengolahan Air Limbah. *Udayana University Press*, 1–153. <http://penerbit.unud.ac.id>
- Verma, D., Singh, A. N., & A.K, P. S. (2019). Use of Garbage Enzyme. *International Journal of Scientific Resarch and Review*, *07*(07), 210–205. <https://www.researchgate.net/publication/335528212%0AUSE>
- Vika, M. S., Puji Astuti, A., & Tri Wahyuni Maharani, E. (2020). Perbandingan Uji Organoleptik pada Delapan Variabel Produk ekoenzim. *Seminar Nasional Edusaintek*, 393–399.
- Wardhana, W. A. (n.d.). *Dampak Pencemaran Lingkungan*.
- 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., Ratnawati, R., Sugito, Yoso Wiyarno, & Pungut. (2023). Penurunan Kadar Surfaktan, Nitrogen Dan Phospat Air Limbah Domestik Dengan Eco Enzim. *Waktu*, *21*(01), 10–18. <https://doi.org/10.36456/waktu.v21i01.6567>
- 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>
- Wikaningrum, T., & El Dabo, M. (2022). Eco-Enzyme Sebagai Rekayasa Teknologi Berkelanjutan Dalam Pengolahan Air Limbah. *Jurnal Penelitian Dan Karya Ilmiah Lembaga Penelitian Universitas Trisakti*, *7*(1), 53–64. <https://doi.org/10.25105/pdk.v7i1.10738>
- Yudhistira, B., Andriani, M., & Utami, R. (2018). Karakterisasi: Limbah Cair Industri Tahu Dengan Koagulan Yang Berbeda (Asam Asetat Dan Kalsium

Sulfat). *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 31(2), 137.
<https://doi.org/10.20961/carakatani.v31i2.11998>

Zulius, A. (2017). Rancang Bangun Monitoring pH Air Menggunakan Soil Moisture Sensor di SMK N 1 Tebing Tinggi Kabupaten Empat Lawang. *Jusikom*, 2(1).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pembuatan *Eco-enzyme*



Penimbangan Bahan Untuk *Eco-enzyme*



Memasukan Kulit Buah dan gula cair ke dalam wadah



Pengadukan

Lampiran 2 Pengambilan Sampel



Tempat Pencetakan Tahu



Tempat Pembuatan Tahu



Tempat Limbah Tahu

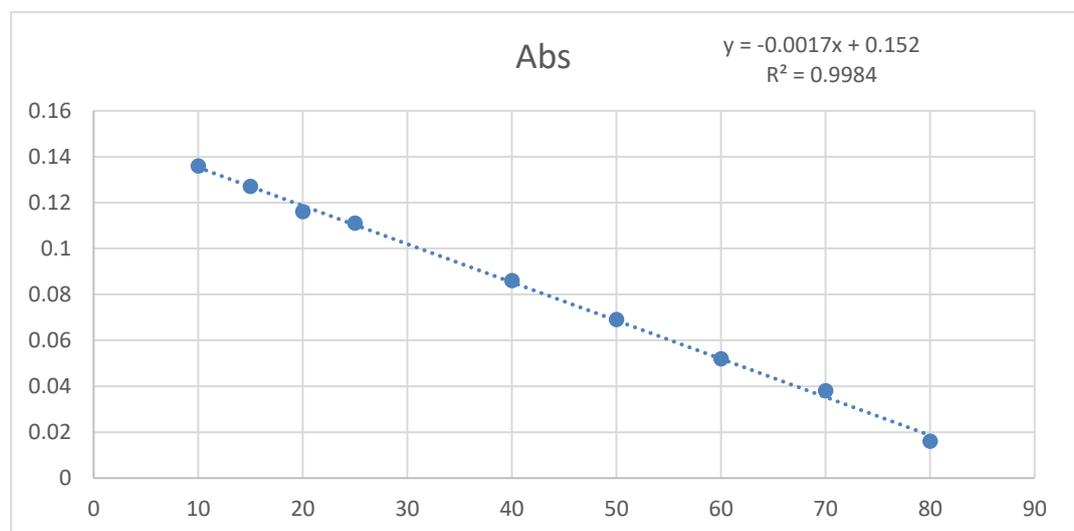


Pengambilan Air Limbah Tahu

Lampiran 3 Pengujian COD

Lar. Kerja	Abs
10	0.136
15	0.127
20	0.116
25	0.111
40	0.086
50	0.069
60	0.052
70	0.038
80	0.016
Slope	-0.002
Intersep	0.152
STEYX	0.002
LoD	3.246
LoQ	10.821

Tabel Data Kurva Kalibrasi



Kurva Kalibrasi COD

Perhitungan COD					
Hari	Kode	Fp	Abs	Terkoreksi	Konsentrasi
0	AQ	1	0.074	0	
	A1	100	0.053	-0.021	10378
	A1_D	100	0.05	-0.024	10558
	B1	100	0.079	0.005	8818
	B1_D	100	0.079	0.005	8818
	B2	100	0.088	0.014	8278
	B2_D	100	0.089	0.015	8218
	B3	100	0.105	0.031	7258
	B3_D	100	0.105	0.031	7258
3	A1	100	0.037	-0.037	11338
	A1_D	100	0.038	-0.036	11278
	B1	100	0.087	0.013	8338
	B1_D	100	0.090	0.016	8158
	B2	100	0.115	0.041	6658
	B2_D	100	0.118	0.044	6478
	B3	100	0.127	0.053	5938
	B3_D	100	0.133	0.059	5578
5	A1	100	0.038	-0.036	11278
	A1_D	100	0.038	-0.036	11278
	B1	100	0.168	0.094	3478
	B1_D	100	0.170	0.096	3358
	B2	100	0.212	0.138	838
	B2_D	100	0.213	0.139	778
	B3	100	0.337	0.263	-6663
	B3_D	100	0.335	0.261	-6543

Perhitungan COD					
Hari	Kode	Fp	Abs	Terkoreksi	Konsentrasi
7	A1	100	0.035	-0.039	11458
	A1_D	100	0.032	-0.042	11638
	B1	100	0.260	0.186	-2042
	B1_D	100	0.262	0.188	-2162
	B2	100	0.398	0.324	-10323
	B2_D	100	0.401	0.327	-10503
	B3	100	0.582	0.508	-21363
	B3_D	100	0.584	0.510	-21483
9	A1	100	0.033	-0.041	11578
	A1_D	100	0.031	-0.043	11698
	B1	100	0.273	0.199	-2823
	B1_D	100	0.271	0.197	-2703
	B2	100	0.584	0.510	-21483
	B2_D	100	0.582	0.508	-21363
	B3	100	0.729	0.655	-30184
	B3_D	100	0.726	0.652	-30004
11	A1	100	0.021	-0.053	12298
	A1_D	100	0.023	-0.051	12178
	B1	100	0.168	0.094	3478
	B1_D	100	0.170	0.096	3358
	B2	100	0.386	0.312	-9603
	B2_D	100	0.388	0.314	-9723
	B3	100	0.763	0.689	-32224
	B3_D	100	0.795	0.721	-34144

Perhitungan COD					
Hari	Kode	Fp	Abs	Terkoreksi	Konsentrasi
11	A1	100	0.021	-0.053	12298
	A1_D	100	0.023	-0.051	12178
	B1	100	0.168	0.094	3478
	B1_D	100	0.170	0.096	3358
	B2	100	0.386	0.312	-9603
	B2_D	100	0.388	0.314	-9723
	B3	100	0.763	0.689	-32224
	B3_D	100	0.795	0.721	-34144
13	A1	100	0.022	-0.052	12238
	A1_D	100	0.023	-0.051	12178
	B1	100	0.260	0.186	-2042
	B1_D	100	0.265	0.191	-2343
	B2	100	0.495	0.421	-16143
	B2_D	100	0.49	0.416	-15843
	B3	100	0.799	0.725	-34384
	B3_D	100	0.804	0.730	-34684
15	A3	100	0.02	-0.054	12358
	A1_D	100	0.021	-0.053	12298
	B3	100	0.230	0.156	-242
	B1_D	100	0.232	0.158	-362
	B2	100	0.495	0.421	-16143
	B2_D	100	0.493	0.419	-16023
	B3	100	0.777	0.703	-33064
	B3_D	100	0.773	0.699	-32824

Tabel Perhitungan COD



Hari ke 3



Hari ke 5



Hari ke 7



Hari ke 9



Hari ke 13



Hari ke 15



Pengujian dengan Spektrofotometri



Pemanasan Sampel dengan Thermoreaktor

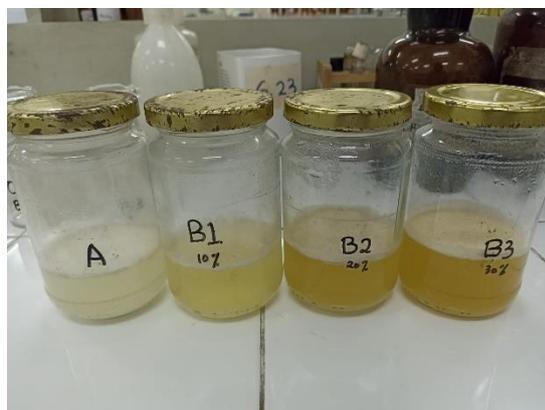
Lampiran 4 Pengujian BOD

PERHITUNGAN BOD											
Hari	Kode Sampel	V Titration DO 0 (mg/L)	V Titration DO 5 (mg/L)	N Na2S2 O3	F	C DO 0 (mg/ L)	C DO 5 (mg/ L)	Vc (mg/L)	Vb (mg/L)	P	C BOD5 (mg/L)
0	Blanko 1	2.0	1.9	0.0211	1.0	6.9	6.5	50.0	100.0	0.001	
	<i>Eco-enzyme</i>	2.0	1.7	0.0211	1.0	6.9	5.9	50.0	100.0	0.001	861
	A1	1.7	0.1	0.0211	1.0	5.9	0.3	50.0	100.0	0.001	5340
	A1_D	1.7	0.1	0.0211	1.0	5.9	0.3	50.0	100.0	0.001	4995
	B1	1.5	0.1	0.0211	1.0	5.2	0.3	50.0	100.0	0.001	4651
	B1_D	1.5	0.1	0.0211	1.0	5.2	0.3	50.0	100.0	0.001	4651
	B2	1.3	0.1	0.0211	1.0	4.5	0.3	50.0	100.0	0.001	3962
	B2_D	1.3	0.1	0.0211	1.0	4.5	0.3	50.0	100.0	0.001	3962
	B3	1.1	0.1	0.0211	1.0	3.8	0.3	50.0	100.0	0.001	3273
	B3_D	1.1	0.1	0.0211	1.0	3.8	0.3	50.0	100.0	0.001	3273
3	A1	1.8	0.1	0.0211	1.0	6.2	0.3	50.0	100.0	0.001	5684
	A1_D	1.8	0.1	0.0211	1.0	6.2	0.3	50.0	100.0	0.001	5684
	B2	1.4	0.2	0.0211	1.0	4.8	0.7	50.0	100.0	0.001	3962
	B1_D	1.4	0.2	0.0211	1.0	4.8	0.7	50.0	100.0	0.001	3962
	B2	1.2	0.2	0.0211	1.0	4.1	0.7	50.0	100.0	0.001	3273
	B2_D	1.2	0.2	0.0211	1.0	4.1	0.7	50.0	100.0	0.001	3273
	B3	1.0	0.1	0.0211	1.0	3.4	0.3	50.0	100.0	0.001	2928
	B3_D	1.0	0.1	0.0211	1.0	3.4	0.3	50.0	100.0	0.001	2928
5	A1	1.9	0.1	0.0211	1.0	6.5	0.3	50.0	100.0	0.001	6029
	A1_D	1.8	0.1	0.0211	1.0	6.2	0.3	50.0	100.0	0.001	5684
	B1	0.8	0.2	0.0211	1.0	2.8	0.7	50.0	100.0	0.001	1895
	B1_D	0.8	0.2	0.0211	1.0	2.8	0.7	50.0	100.0	0.001	1895
	B2	0.3	0.1	0.0211	1.0	1.0	0.3	50.0	100.0	0.001	517
	B2_D	0.3	0.1	0.0211	1.0	1.0	0.3	50.0	100.0	0.001	517

PERHITUNGAN BOD											
Hari	Kode Sampel	V Titration DO 0 (mg/L)	V Titration DO 5 (mg/L)	N Na2S2 O3	F	C DO 0 (mg/ L)	C DO 5 (mg/ L)	Vc (mg/L)	Vb (mg/L)	P	C BOD5 (mg/L)
	B3_D	0.2	0.1	0.0211	1.0	0.7	0.3	50.0	100.0	0.001	172
7	A1	1.9	0.1	0.0211	1.0	6.5	0.3	50.0	100.0	0.001	6029
	A1_D	1.9	0.1	0.0211	1.0	6.5	0.3	50.0	100.0	0.001	6029
	B1	0.4	0.1	0.0211	1.0	1.4	0.3	50.0	100.0	0.001	861
	B1_D	0.4	0.1	0.0211	1.0	1.4	0.3	50.0	100.0	0.001	861
	B2	0.3	0.1	0.0211	1.0	1.0	0.3	50.0	100.0	0.001	517
	B2_D	0.3	0.1	0.0211	1.0	1.0	0.3	50.0	100.0	0.001	517
	B3	0.4	0.3	0.0211	1.0	1.4	1.0	50.0	100.0	0.001	172
	B3_D	0.4	0.3	0.0211	1.0	1.4	1.0	50.0	100.0	0.001	172
9	A1	1.9	0.1	0.0211	1.0	6.5	0.3	50.0	100.0	0.001	6029
	A1_D	1.8	0.1	0.0211	1.0	6.2	0.3	50.0	100.0	0.001	5684
	B1	0.7	0.1	0.0211	1.0	2.4	0.3	50.0	100.0	0.001	1895
	B1_D	0.7	0.1	0.0211	1.0	2.4	0.3	50.0	100.0	0.001	1895
	B2	0.5	0.2	0.0211	1.0	1.7	0.7	50.0	100.0	0.001	861
	B2_D	0.6	0.3	0.0211	1.0	2.1	1.0	50.0	100.0	0.001	861
	b3	0.5	0.3	0.0211	1.0	1.7	1.0	50.0	100.0	0.001	517
	B3_D	0.4	0.2	0.0211	1.0	1.4	0.7	50.0	100.0	0.001	517
11	A6	2.0	0.1	0.0211	1.0	6.9	0.3	50.0	100.0	0.001	6373
	A1_D	1.9	0.1	0.0211	1.0	6.5	0.3	50.0	100.0	0.001	6029
	B1	0.9	0.1	0.0211	1.0	3.1	0.3	50.0	100.0	0.001	2584
	B1_D	1.0	0.1	0.0211	1.0	3.4	0.3	50.0	100.0	0.001	2928
	B7	0.8	0.2	0.0211	1.0	2.8	0.7	50.0	100.0	0.001	1895
	B2_D	0.7	0.1	0.0211	1.0	2.4	0.3	50.0	100.0	0.001	1895
	B8	0.4	0.1	0.0211	1.0	1.4	0.3	50.0	100.0	0.001	861
	B3_D	0.5	0.2	0.0211	1.0	1.7	0.7	50.0	100.0	0.001	861
13	A1	2.0	0.1	0.0211	1.0	6.9	0.3	50.0	100.0	0.001	6373
	A1_D	1.9	0.1	0.0211	1.0	6.5	0.3	50.0	100.0	0.001	6029

PERHITUNGAN BOD											
	Kode Sampel	V	V	N	F	C	C	Vc	Vb	P	C BOD5
		Titration DO 0 (mg/L)	Titration DO 5 (mg/L)	Na2S2O3		DO 0 (mg/L)	DO 5 (mg/L)				
Hari	A1_D	1.9	0.1	0.0211	1.0	6.5	0.3	50.0	100.0	0.001	6029
	B1	1.3	0.1	0.0211	1.0	4.5	0.3	50.0	100.0	0.001	3962
	B1_D	1.3	0.1	0.0211	1.0	4.5	0.3	50.0	100.0	0.001	3962
	B2	1.0	0.1	0.0211	1.0	3.4	0.3	50.0	100.0	0.001	2928
	B2_D	1.0	0.1	0.0211	1.0	3.4	0.3	50.0	100.0	0.001	2928
	B3	0.7	0.1	0.0211	1.0	2.4	0.3	50.0	100.0	0.001	1895
	B3_D	0.7	0.1	0.0211	1.0	2.4	0.3	50.0	100.0	0.001	1895
15	A1	2.0	0.1	0.0211	1.0	6.9	0.3	50.0	100.0	0.001	6373
	A1_D	1.9	0.1	0.0211	1.0	6.5	0.3	50.0	100.0	0.001	6029
	B1	1.4	0.1	0.0211	1.0	4.8	0.3	50.0	100.0	0.001	4306
	B1_D	1.4	0.1	0.0211	1.0	4.8	0.3	50.0	100.0	0.001	4306
	B2	1.2	0.1	0.0211	1.0	4.1	0.3	50.0	100.0	0.001	3617
	B2_D	1.2	0.1	0.0211	1.0	4.1	0.3	50.0	100.0	0.001	3617
	B3	1.1	0.1	0.0211	1.0	3.8	0.3	50.0	100.0	0.001	3273
B3_D	1.1	0.1	0.0211	1.0	3.8	0.3	50.0	100.0	0.001	3273	

Tabel Perhitungan BOD



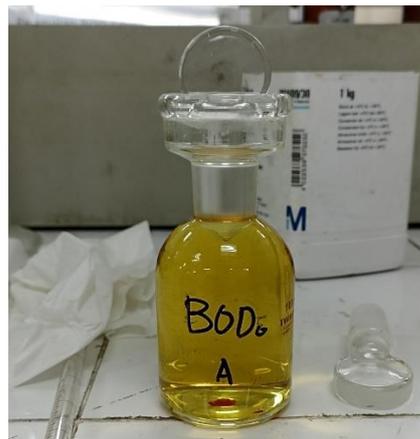
Sampel uji sebelum dilakukan pengujian BOD



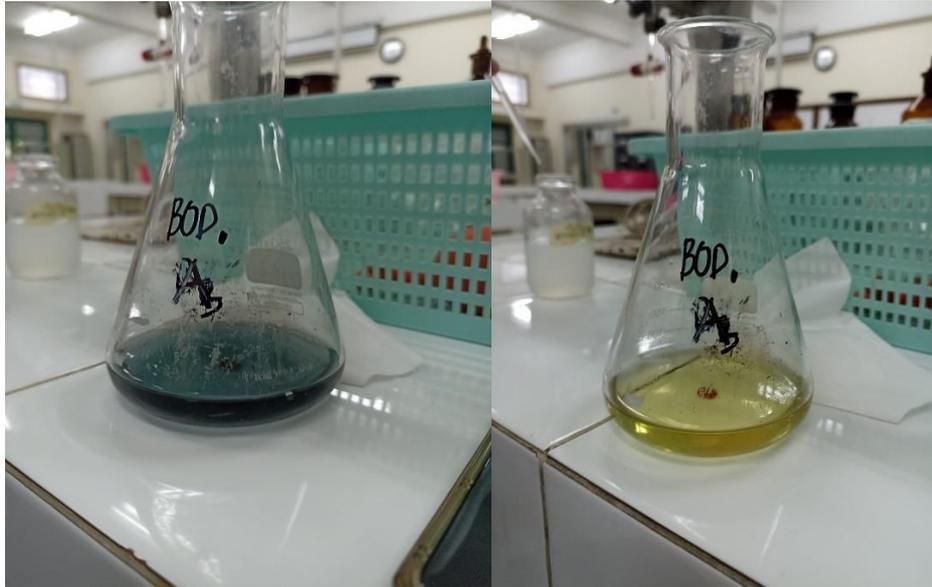
Sampel setelah diinkubasi 5 hari



Sampel setelah diberikan larutan Indikator



Sampel setelah diberikan larutan H₂SO₄



Sampel uji setelah (warna biru) dan sebelum (warna kuning) diberikan amilum

“Halaman ini sengaja dikosongkan”