



TUGAS AKHIR - CL234801

PENGARUH PENAMBAHAN *ECO ENZYME* PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH RUMAH PEMOTONGAN AYAM

VINZA AMALIYAH

NRP 5014201057

Dosen Pembimbing

Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D.

NIP 19730601 200003 1 001

Program Studi Sarjana Teknik Lingkungan

Departemen Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024



TUGAS AKHIR - CL234801

**PENGARUH PENAMBAHAN *ECO ENZYME* PADA
PENGOLAHAN AIR LIMBAH RUMAH PEMOTONGAN
AYAM**

VINZA AMALIYAH

NRP 5014201057

Dosen Pembimbing

Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D.

NIP 19730601 200003 1 001

Program Studi Sarjana Teknik Lingkungan

Departemen Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024



FINAL PROJECT - CL234801

**THE EFFECT OF ADDING ECO ENZYME ON THE
TREATMENT OF WASTEWATER FROM A CHICKEN
SLAUGHTERHOUSE**

VINZA AMALIYAH

NRP 5014201057

Advisor

Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D.

NIP 19730601 200003 1 001

Bachelor Degree of Environmental Engineering Program

Department of Environmental Engineering

Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2024

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN *ECO ENZYME* PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH RUMAH PEMOTONGAN AYAM

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **VINZA AMALIYAH**

NRP. 5014201057

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D.

Pembimbing

2. Prof. Dr. Ali Masduqi, S.T., M.T.

Penguji

3. Dr. Isni Arliyani, S.T.

Penguji

4. Prof. Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D.

Penguji



“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Vinza Amaliyah / 5014201057

Program studi : Teknik Lingkungan

Dosen Pembimbing / NIP : Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D. / 19730601 200003 1 001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “**Pengaruh Penambahan *Eco Enzyme* pada Pengolahan Air Limbah Rumah Pematangan Ayam**” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 24 Juli 2024

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19730601 200003 1 001

Mahasiswa



Vinza Amaliyah
NRP. 5014201057

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN *ECO ENZYME* PADA PENGOLAHAN AIR LIMBAH RUMAH PEMOTONGAN AYAM

Nama Mahasiswa / NRP : Vinza Amaliyah / 5014201057
Departemen : Teknik Lingkungan FTSPK - ITS
Dosen Pembimbing : Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Limbah cair yang dihasilkan oleh Rumah Pemotongan Ayam (RPA) berasal dari kegiatan pemotongan dan pembersihan bagian-bagian ayam, sehingga mengandung darah, protein, lemak, dan padatan tersuspensi. Kandungan tersebut menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen terlarut (DO), meningkatkan nilai pH, dan meningkatkan kandungan bahan organik yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan badan air. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penambahan *eco enzyme* pada pengolahan air limbah RPA terhadap degradasi bahan organik dan untuk menganalisis konsentrasi air limbah yang optimal dalam mencapai efisiensi pengolahan tertinggi dengan penambahan *eco enzyme*. Pengolahan air limbah untuk mendegradasi bahan organik dapat menggunakan unit lumpur aktif yang memanfaatkan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organiknya. Selain itu, dilakukan penambahan *eco enzyme* yang dapat mempercepat proses degradasi.

Metode penelitian meliputi penelitian pendahuluan, yakni tahap *seeding* dan aklimatisasi mikroorganisme. Kemudian pada penelitian utama dalam mencampurkan hasil dari tahap *seeding* dan aklimatisasi, EE, dan limbah RPA. Dilakukan variasi konsentrasi air limbah RPA yang diencerkan hingga memiliki nilai COD 500, 1000, dan 1500 mg/L. Kemudian dilakukan penambahan *eco enzyme* dengan variasi konsentrasi 2%, 5%, dan 10% v/v. Selain itu, dari campuran tersebut diaerasi hingga konsentrasi DO pada reaktor bernilai >4 mg/L atau hingga memiliki konsentrasi oksigen berlebih. Penelitian ini menggunakan reaktor *single chamber* dengan sistem *batch* (tidak ada aliran masuk maupun keluar). Dilakukan pengumpulan data primer memuat nilai parameter kualitas air meliputi BOD, COD, MLSS, Minyak dan Lemak, serta NH₃-N untuk setiap sampel yang diambil. Sementara untuk data sekunder meliputi data pendukung terkait baku mutu air limbah RPA.

Berdasarkan penelitian, pengaruh penambahan konsentrasi EE secara keseluruhan terbukti meningkatkan degradasi bahan organik dan pertumbuhan mikroorganisme. Penambahan EE sebanyak 10% v/v terbukti dapat menyisihkan BOD, COD, NH₃-N dan minyak dan lemak masing-masing 66%, 60%, 54,3% dan 64,7%. Sedangkan untuk konsentrasi COD optimum dengan lumpur aktif dan penambahan EE pada konsentrasi 1500 mg/L dalam mendegradasi konsentrasi BOD, COD, MLSS, NH₃-N, dan minyak dan lemak.

Kata kunci: air limbah, *eco enzyme*, bahan organik, rumah pemotongan ayam

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

ABSTRACT

THE EFFECT OF ADDING ECO ENZYME ON THE TREATMENT OF WASTEWATER FROM A CHICKEN SLAUGHTERHOUSE

Student Name / NRP : Vinza Amaliyah / 5014201057
Department : Teknik Lingkungan FTSPK - ITS
Advisor : Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

The liquid waste generated by Chicken Slaughterhouse (CS) comes from cutting and cleaning chicken parts, thus containing blood, protein, fat, and suspended solids. These contents cause a decrease in dissolved oxygen (DO) levels, increase pH values, and increase the content of organic matter, which can cause environmental pollution and water body contamination. This research aims to analyze the effect of adding eco enzymes to CS wastewater treatment on organic matter degradation and to analyze the most optimal wastewater concentration to achieve the highest processing efficiency by adding eco enzymes. Wastewater treatment to degrade organic matter can use activated sludge units that utilize microorganisms to degrade organic matter. In addition, eco enzymes accelerate the degradation process.

The research method includes preliminary research, namely microorganisms' seeding and acclimatization stages. Then, in the primary research, the results of the seeding and acclimatization stages, EE, and CS waste are mixed. Variation in CS wastewater concentrations diluted to have COD values of 500, 1000, and 1500 mg/L. Then, eco enzyme addition with variations in concentrations of 2%, 5%, and 10%. In addition, aeration until the DO levels in the reactor were >4 mg/L or until excess oxygen was present. This research uses a single-chamber reactor with a batch system (no inlet or outlet flow). Primary data collection was carried out, including the values of water quality parameters such as BOD, COD, MLSS, oil and grease, and NH₃-N for each sample. Meanwhile, secondary data includes supporting data related to the quality standards of CS wastewater.

Research has shown that adding EE concentration increases the degradation of organic material and microbial growth. Adding EE at 10% v/v can remove 66% of BOD, 60% of COD, 54,3% of NH₃-N and 64,7 % of oil and grease. The optimal COD concentration levels with activated sludge and EE addition is 1500 mg/L for degrading BOD, COD, MLSS, NH₃-N, and oil and grease.

Keywords: *wastewater, eco enzyme, organic matter, chicken slaughterhouse.*

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Penulis panjatkan puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang memberikan berkah, rahmat, dan petunjuk-Nya, serta senantiasa mengucapkan shalawat dan salam untuk Nabi Muhammad SAW. Terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan masukan berharga dalam penyelesaian Tugas Akhir dengan judul “**Pengaruh Penambahan Eco Enzyme pada Pengolahan Air Limbah Rumah Pemotongan Ayam**” ini tepat pada waktunya. Tidak lupa ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak terkait dalam tugas ini, antara lain:

1. Bapak Adhi Yuniarto, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan ilmu dan bimbingan selama penyusunan tugas akhir.
2. Bapak Prof. Dr. Ali Masduqi, S.T., M.T., Ibu Prof. Bieby Voijant Tangahu, S.T., M.T., Ph.D., Bapak Bara Awanda Marhendra, S.T., M.Sc ETH., dan Ibu Dr. Isni Arliyani, S.T., selaku dosen pengarah yang telah memberikan masukan dalam penyusunan tugas akhir.
3. Ibu Dr. Susi Agustina Wilujeng, S.T., M.T., selaku dosen wali yang telah membimbing dan membina penulis selama perkuliahan
4. Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM dan Ibu Prof. Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Departemen dan Sekretaris Departemen Teknik Lingkungan ITS.
5. Bapak Mohamad Ashari dan Bapak Edy Pratikto selaku laboran di Laboratorium Teknik Lingkungan yang membantu dan mengarahkan dalam melakukan analisis di Laboratorium.
6. Bapak Yudi selaku petugas di RPA Pasar Krian Baru yang telah membantu pengambilan sampel selama penelitian.
7. Bapak Heri dan Bapak Herman selaku petugas Operasional di IPLT Keputih yang telah membantu pengambilan sampel selama penelitian.
8. Bapak Sugiarto dan Ibu Ely Kusmiati serta keluarga penulis yang selalu mendukung dan mendoakan anaknya selama masa pendidikan penulis hingga masa penyusunan Tugas Akhir.
9. Teman-teman penulis *Cevremiz* (Angkatan 2020) yang berjuang bersama dalam masa perkuliahan dan penyusunan Tugas Akhir.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis telah berupaya sebaik mungkin dalam menyusun Tugas Akhir ini, meskipun sadar bahwa masih ada kekurangan. Karena itu, penulis mengharapkan masukan yang membangun, kritik, dan saran. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 27 Juni 2024

Penulis

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Ruang Lingkup	2
1.5 Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Karakteristik Air Limbah Rumah Pemotongan Ayam (RPA)	3
2.2 Sistem Lumpur Aktif (<i>Activated Sludge</i>)	4
2.3 Pertumbuhan Mikroorganisme	4
2.4 Koefisien Pertumbuhan Mikroorganisme	5
2.5 Biodegradasi Secara Aerob	6
2.6 Koefisien Degradasi Bahan Organik	6
2.7 <i>Eco Enzyme</i> (EE).....	8
2.8 Penelitian Terdahulu	8
BAB III METODOLOGI	11
3.1 Gambaran Umum Penelitian	11
3.2 Kerangka Penelitian	11
3.3 Metode Penelitian.....	13
3.3.1 Ide Penelitian	13
3.3.2 Rumusan Masalah	14
3.3.3 Tujuan	14
3.3.4 Tinjauan Pustaka	14
3.3.5 Persiapan Penelitian.....	14
3.3.6 Variabel dan Parameter Penelitian	16
3.3.7 Pengambilan Sampel	16
3.3.8 Pelaksanaan Penelitian	17
3.3.9 Pengambilan Data.....	18
3.3.10 Analisis Data dan Pembahasan	21
3.3.11 Kesimpulan dan Saran	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Penelitian Pendahuluan	23
4.1.1 Uji Karakteristik Awal.....	23
4.1.2 Preparasi Lumpur	24

4.1.3	Preparasi Komposisi Air Limbah, Lumpur, dan EE	26
4.2	Pengaruh Penambahan EE pada Pengolahan Air Limbah RPA	27
4.2.1	Analisis pH dan Suhu.....	27
4.2.2	Analisis Konsentrasi BOD	30
4.2.3	Analisis Konsentrasi COD	34
4.2.4	Analisis Konsentrasi MLSS dan MLVSS	37
4.2.5	Analisis Konsentrasi NH ₃ -N	41
4.2.6	Analisis Konsentrasi Minyak dan Lemak	45
4.3	Pengaruh Konsentrasi Air Limbah RPA yang Diolah dengan Penambahan EE terhadap Penurunan Bahan Organik	48
4.3.1	Analisis Penyisihan Konsentrasi BOD	48
4.3.2	Analisis Penyisihan Konsentrasi COD	48
4.3.3	Analisis Penyisihan Konsentrasi MLSS	49
4.3.4	Analisis Penyisihan Konsentrasi NH ₃ -N.....	49
4.3.5	Analisis Penyisihan Konsentrasi Minyak dan Lemak.....	50
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran	53
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN A PERHITUNGAN JUMLAH GULA UNTUK TAHAP SEEDING.....		59
LAMPIRAN B METODE ANALISA PARAMETER UJI.....		61
LAMPIRAN C HASIL ANALISIS		63
BIODATA PENULIS.....		67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kurva Pertumbuhan Mikroorganisme.....	4
Gambar 2.2	Grafik Laju Pertumbuhan Spesifik	5
Gambar 2.3	Grafik Linier Reaksi (a) Orde 0, (b) Orde 1, dan (c) Orde 2	7
Gambar 3.1	Kerangka Penelitian	13
Gambar 3.2	Reaktor (a) Sketsa, (b) Tampak Atas, (c) Rangkaian Reaktor, dan (d) Tampak Samping	15
Gambar 3.3	EE Wisma Herbal Surabaya.....	16
Gambar 3.4	Diagram Alir IPAL Pasar Krian Baru.....	16
Gambar 4.1	(a) Bak Pengumpul Limbah Cair RPA dan (b) Pengambilan Limbah Cair RPA	23
Gambar 4.2	(a) Pengambilan Lumpur IPLT Keputih dan (b) <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi.....	24
Gambar 4.3	Konsentrasi MLSS dan MLVSS pada Tahap <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi.....	25
Gambar 4.4	Konsentrasi COD pada Tahap <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi.....	25
Gambar 4.5	pH Tahap <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi	25
Gambar 4.6	pH pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L.....	28
Gambar 4.7	Suhu pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L.....	29
Gambar 4.8	Pengujian Konsentrasi BOD (a) Proses Analisis Nilai Permanganat, (b) Sampel dan Blanko pada Botol Winkler, (c) Analisis DO Hari ke-0, (d) Analisis DO Hari ke-5, dan (e) Hasil Titrasi Berwarna Bening	30
Gambar 4.9	Konsentrasi BOD pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L	31
Gambar 4.10	Penyisihan Konsentrasi BOD pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L	32
Gambar 4.11	Plot [BOD] terhadap Waktu.....	33
Gambar 4.12	Plot ln [BOD] terhadap Waktu	33
Gambar 4.13	Plot 1/[BOD] terhadap Waktu	34
Gambar 4.14	Pengujian Konsentrasi COD (a) Proses Pencampuran Reagen, (b) Proses Pemanasan dengan <i>Heating Block</i> , (c) Proses Titrasi, dan (d) Hasil Titrasi Sampel.....	34
Gambar 4.15	Konsentrasi COD pada Variasi Konsentrasi COD (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L.....	35
Gambar 4.16	Penyisihan Konsentrasi COD pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L	36
Gambar 4.17	Pengujian Konsentrasi MLSS (a) Proses Oven Kertas Saring, (b) Proses <i>Vacuum</i> Sampel, (c) Kertas Saring dan Residu, dan (d) Proses Penimbangan Kertas Saring dan Residu	37
Gambar 4.18	Pengujian Konsentrasi MLVSS (a) Proses Penimbangan Cawan Porselin, (b) Proses Pembakaran dengan <i>Furnace</i> , (c) Cawan Porselin dan Abu, dan (d) Proses Penimbangan Cawan dan Abu.....	38

Gambar 4.19	Konsentrasi MLSS pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L	39
Gambar 4.20	Konsentrasi MLVSS pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L	40
Gambar 4.21	Grafik ln MLVSS terhadap Waktu.....	41
Gambar 4.22	Kurva Kalibrasi Amonium	41
Gambar 4.23	Pengujian Konsentrasi NH ₃ -N (a) Proses Destruksi, (b) Proses Pencampuran Reagen, dan (c) Analisa dengan Spektrofotometer	42
Gambar 4.24	Konsentrasi NH ₃ -N pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L	43
Gambar 4.25	Penyisihan Konsentrasi NH ₃ -N pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L	44
Gambar 4.26	Pengujian Konsentrasi Minyak dan Lemak (a) Proses Penimbangan Labu Destilasi, (b) Proses Pemisahan Minyak dan Lemak dari Sampel, (c) Minyak dan Lemak yang larut dengan Kloroform, (d) Proses Destilasi, dan (e) Proses Penimbangan Labu dan Minyak.....	45
Gambar 4.27	Konsentrasi Minyak dan Lemak pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L	46
Gambar 4.28	Penyisihan Konsentrasi Minyak dan Lemak pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L.....	47
Gambar 4.29	Perbandingan Penyisihan Konsentrasi BOD Variasi COD dan EE	48
Gambar 4.30	Perbandingan Penyisihan Konsentrasi COD Variasi COD dan EE	49
Gambar 4.31	Perbandingan Penyisihan Konsentrasi MLSS Variasi COD dan EE	49
Gambar 4.32	Perbandingan Penyisihan Konsentrasi NH ₃ -N Variasi Konsentrasi COD dan EE	50
Gambar 4.33	Perbandingan Penyisihan Konsentrasi Minyak dan Lemak Variasi Konsentrasi COD dan EE.....	50
Gambar 4.34	Perbandingan Pertumbuhan MLVSS dengan Penyisihan COD pada Variasi Konsentrasi COD (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Limbah Cair RPA	3
Tabel 2.2	Baku Mutu Limbah Cair RPA	3
Tabel 2.3	Penelitian Terdahulu	9
Tabel 3.1	Matriks Sampel Penelitian	18
Tabel 3.2	Standar Pengujian Parameter	18
Tabel 3.3	Matriks Jumlah Benda Uji	19
Tabel 4.1	Karakteristik Limbah Cair RPA	23
Tabel 4.2	Karakteristik Limbah Cair RPA yang Diolah.....	23
Tabel 4.3	Uji Karakteristik Awal Lumpur IPLT Keputih	24
Tabel 4.4	Komposisi untuk Tahap <i>Seeding</i> dan Aklimatisasi	24
Tabel 4.5	Komposisi Air Limbah, Lumpur, dan EE untuk Penelitian Utama.....	27
Tabel 4.6	Hasil Plot Data pada Persamaan Reaksi Orde	33
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Nilai k Degradasi BOD.....	34
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan Nilai k Degradasi COD.....	37
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan ln X Variasi Konsentrasi COD 500 mg/L.....	38
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Konstanta Pertumbuhan Mikroorganisme	38
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan Nilai k Degradasi NH ₃ -N.....	42
Tabel 4.12	Hasil Perhitungan Nilai k Degradasi Minyak dan Lemak	45

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk yang meningkat setiap tahun, juga meningkatkan kebutuhan akan protein hewani terutama daging ayam. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, banyak Rumah Pemotongan Ayam (RPA) yang beroperasi dalam skala besar maupun kecil. Dari kegiatan operasional RPA, yang meliputi kegiatan pemotongan, pembersihan, dan persiapan daging ayam, akan dihasilkan limbah padat dan cair. Limbah padat yang dihasilkan berupa sisa bagian-bagian tubuh dan bulu ayam. Sedangkan untuk limbah cair yang dihasilkan berupa air buangan yang berasal dari kegiatan penyembelihan dan pembersihan bagian-bagian ayam. Limbah cair ini mengandung berbagai zat seperti darah, protein, lemak, dan padatan tersuspensi. Air limbah RPA memiliki bahan organik yang tinggi dan melebihi baku mutu, sehingga perlu dilakukan proses pengolahan untuk menghindari terjadinya pencemaran lingkungan (Merdana dkk., 2021).

Mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Rumah Pemotongan Hewan, parameter kualitas air limbah RPA meliputi BOD, COD, MLSS, Minyak dan Lemak, $\text{NH}_3\text{-N}$, serta pH. Tingginya konsentrasi BOD dan COD pada air limbah RPA akan menurunkan konsentrasi oksigen terlarut (DO) dalam badan air. Kandungan amonia pada air limbah RPA bersumber dari feses ayam dan hasil penguraian proteinnya. Apabila amonia pada air limbah RPA masuk ke badan air tanpa diolah, maka akan terbentuk ion amonium dan peningkatan nilai pH yang berdampak buruk bagi ekosistem akuatik (Herman, 2023).

RPA yang berada di Pasar Krian Baru, Kecamatan Krian, Sidoarjo, merupakan RPA dengan skala sedang-kecil, karena terdiri dari jajaran jasa potong ayam yang masih menggunakan teknologi tradisional. Terdapat 17 jasa potong ayam yang beroperasi setiap harinya. Dari proses penyembelihan satu ekor ayam, akan dihasilkan limbah cair sebanyak 3 Liter dan dalam sehari RPA ini dapat menyembelih hingga ± 5.100 ekor ayam/hari. Total limbah cair yang dihasilkan dalam sehari berkisar 15.300 L. Untuk mengolah limbah tersebut, RPA Pasar Krian Baru telah dilengkapi dengan IPAL konvensional, tetapi kualitas *effluent*-nya masih melebihi baku mutu.

Pengolahan air limbah RPA yang memiliki kandungan bahan organik yang besar dapat dilakukan secara biologis dan dengan penambahan katalis untuk mendegradasi bahan organiknya. Katalis yang ditambahkan dapat berupa *enzyme* dan mikroba. Pada penelitian yang dilakukan oleh Kasih dan Hendrasarie (2023), dilakukan penambahan *eco enzyme* (EE) pada reaktor lumpur untuk mengolah air limbah restoran yang berdampak pada meningkatnya penurunan kandungan COD. EE yang ditambahkan pada pengolahan tersebut berperan sebagai bio-katalisator untuk meningkatkan kelarutan senyawa organik dan suplemen bagi mikroorganisme, sehingga dapat mempercepat proses degradasi. Selain itu, karena memiliki pH yang asam, EE juga dapat digunakan dalam stabilisasi pH pada air limbah yang memiliki pH basa (Mandasari dkk., 2023). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat potensi penggunaan reaktor lumpur dengan penambahan EE untuk mendegradasi bahan organik pada air limbah RPA. Meskipun memiliki potensi yang besar, EE belum banyak dimanfaatkan pada pengolahan limbah saat ini. Oleh karena itu, dilakukan penelitian penambahan EE pada pengolahan air limbah RPA untuk mengetahui pengaruhnya terhadap degradasi bahan organik.

1.2 Rumusan Masalah

Dengan mempertimbangkan latar belakang yang telah disampaikan, rumusan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi EE yang ditambahkan pada pengolahan air limbah RPA terhadap degradasi bahan organik?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi air limbah RPA yang dapat diolah dengan penambahan EE untuk mendegradasi bahan organik?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh penambahan EE pada pengolahan air limbah RPA terhadap degradasi bahan organik.
2. Menganalisis konsentrasi air limbah yang optimal dalam mencapai efisiensi pengolahan tertinggi dengan penambahan EE.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian yang berisi batasan permasalahan pada penelitian ini meliputi:

1. Sampel air limbah diambil dari Rumah Potong Ayam yang berada di Pasar Krian Baru, Kecamatan Krian, Sidoarjo.
2. Pedoman yang dipakai dalam menganalisa kualitas air limbah RPA mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Rumah Potong Hewan.
3. Parameter kualitas air limbah yang digunakan dalam penelitian ini meliputi BOD, COD, MLSS, NH₃-N, minyak dan lemak.
4. Mikroorganismenya yang digunakan berasal berupa lumpur aktif unit *Oxidation Ditch* (OD) IPLT Keputih, Surabaya.

1.5 Manfaat

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini meliputi beberapa hal berikut ini:

1. Memberikan informasi tentang bagaimana penambahan EE mempengaruhi degradasi bahan organik dalam pengolahan air limbah RPA.
2. Menentukan konsentrasi air limbah yang paling optimal dalam mencapai efisiensi pengolahan tertinggi dengan penambahan EE.
3. Penelitian ini bisa menjadi opsi dan kontribusi baru dalam pengolahan air limbah RPA.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Air Limbah Rumah Pemotongan Ayam (RPA)

Rumah Pemotongan Ayam (RPA) merupakan fasilitas yang memproses ayam hidup hingga menjadi produk siap olah (Damuk dkk., 2022). Berdasarkan teknologi yang digunakan RPA dapat dibedakan menjadi dua, yakni RPA berteknologi modern dan tradisional. RPA menghasilkan limbah cair dan padat. Limbah cair ini dihasilkan dari kegiatan penyembelihan, pemotongan, dan pembersihan bagian-bagian ayam. Limbah padat dari kegiatan ini berupa bulu ayam, sisa-sisa organ, dan feses. Sedangkan untuk limbah cair yang dihasilkan mengandung darah, protein, lemak, dan padatan tersuspensi. Karena kandungan tersebut air limbah RPA memiliki bahan organik yang tinggi.

Secara fisik karakteristik air limbah RPA berwarna merah keruh dan memiliki bau khas darah. Dalam air limbah tersebut mengandung MLSS yang tinggi, karena feses ayam, rumen, sisa lemak, dan darah yang terlarut (Aristiana & Purnomo, 2020). Konsentrasi bahan organik yang tinggi dalam limbah cair RPA akan mengakibatkan penurunan konsentrasi *Dissolved Oxygen* (DO) dalam badan air. Jika hal tersebut dibiarkan, akan menyebabkan pencemaran lingkungan (Yaakob dkk., 2018). Selain itu, adanya kandungan amonia pada air limbah RPA yang bersumber dari feses ayam dan hasil penguraian protein selama proses penyembelihan dan pembersihan yang perlu diperhatikan. Apabila amonia pada air limbah RPA masuk ke badan air tanpa diolah, maka akan terbentuk ion amonium, karena sifatnya yang mudah bereaksi dengan air dan peningkatan nilai pH yang berdampak buruk bagi ekosistem akuatik (Herman, 2023). Selain mengakibatkan pencemaran lingkungan, limbah RPA juga menyebabkan penurunan kualitas kesehatan masyarakat di sekitar RPA, akibat pencemaran air dan udara (Apriyanti, 2018).

Hasil uji parameter limbah cair RPA pada penelitian terdahulu ditampilkan pada **Tabel 2.1**. Sedangkan baku mutu limbah cair RPA ditampilkan pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.1 Karakteristik Limbah Cair RPA

No	Sumber	Lokasi	Karakteristik Limbah			
			COD (mg/L)	MLSS (mg/L)	BOD (mg/L)	pH
1	(Damuk dkk., 2022)	Kedung Kandang, Malang, Indonesia	1.448,53	1.500	-	-
2	(Putri, 2023)	Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia	8.934	840	4.300	6,6
3	(Yaakob dkk., 2018)	Parit Raja, Johor, Malaysia	3.154,19-7.719,3	377,67-5.462	1.341-1.821	7,3-8,6

Tabel 2.2 Baku Mutu Limbah Cair RPA

Parameter	Baku Mutu
BOD	100 mg/L
COD	200 mg/L
MLSS	100 mg/L
Minyak dan Lemak	15 mg/L
NH ₃ -N	25 mg/L
pH	6-9

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014

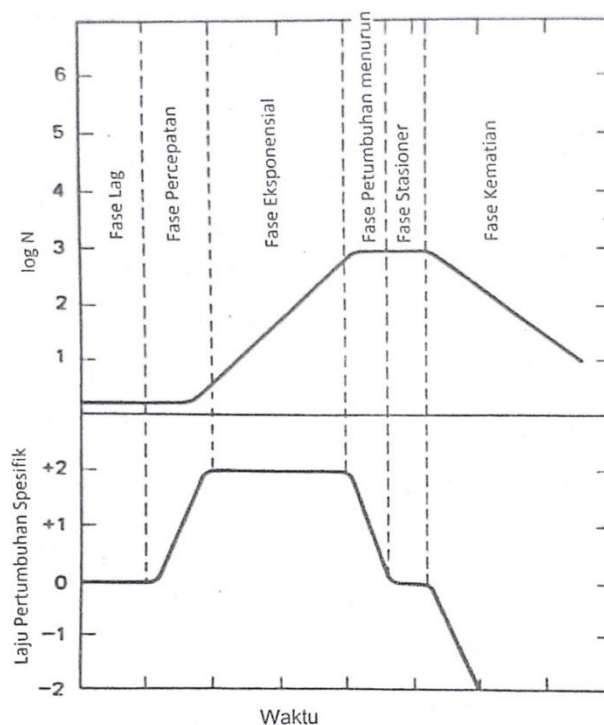
2.2 Sistem Lumpur Aktif (*Activated Sludge*)

Lumpur aktif merupakan salah satu sistem pengolahan biologis konvensional yang banyak diaplikasikan dalam pengolahan air limbah dengan kandungan bahan organik yang tinggi. Sistem pengolahan ini terdiri dari koloni mikroorganisme yang tersuspensi menyerupai padatan mudah mengendap. Mikroorganisme ini memainkan peran krusial sebagai agen pemecah bahan organik kompleks yang berada dalam air limbah. Melalui proses biologis, mikroorganisme tersebut memecah bahan organik menjadi molekul yang lebih sederhana, sehingga bahan organiknya dapat didegradasi dengan lebih mudah (Gani dkk., 2022). Bahan organik pada air limbah inilah yang akan menjadi makanan bagi mikroba, atau yang biasa disebut sebagai substrat. Proses ini sangat penting untuk memastikan bahwa air limbah yang dihasilkan memenuhi standar lingkungan sebelum dibuang atau digunakan kembali.

Dalam pengoperasiannya, sistem lumpur aktif membutuhkan oksigen dalam jumlah besar, yang disuplai melalui proses aerasi. Aerasi ini sangat penting karena oksigen dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk melakukan metabolisme dan memecah senyawa organik. Namun, proses aerasi ini memerlukan konsumsi energi listrik yang relatif tinggi, yang menjadi salah satu tantangan dalam pengoperasian sistem lumpur aktif. Untuk skala Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), konsumsi energi listrik untuk aerasi bisa mencapai 15-25% dari total konsumsi energi sistem. (Oulebsir dkk., 2019).

2.3 Pertumbuhan Mikroorganisme

Pertumbuhan mikroorganisme dalam suatu lingkungan dapat ditampilkan dalam sebuah kurva pertumbuhan, yang secara grafis meliputi seluruh siklus hidup mikroorganisme tersebut. Kurva ini biasanya terdiri dari beberapa fase, termasuk fase lag, percepatan, logaritmik (eksponensial), pertumbuhan menurun, stasioner, dan kematian. Kurva pertumbuhan mikroorganisme dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Kurva Pertumbuhan Mikroorganisme

Sumber: (Masduqi & Assomadi, 2016)

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme, yakni pH, suhu, dan ketersediaan nutrisi pada air limbah. pH lingkungan harus sesuai dengan spesies mikroorganisme yang ada untuk memastikan aktivitas enzimatis berjalan secara optimal. Selain itu, suhu juga memainkan peran vital, suhu yang ekstrem, baik yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah, dapat mengganggu pertumbuhan atau bahkan dapat menyebabkan kematian mikroorganisme. Ketersediaan nutrisi pada air limbah menjadi faktor kunci lainnya, karena mikroorganisme membutuhkan berbagai nutrisi seperti karbon, nitrogen, fosfor, dan elemen-elemen lainnya untuk tumbuh dan berkembang biak. Kekurangan salah satu nutrisi esensial ini dapat membatasi laju pertumbuhan mikroorganisme dan mengganggu efisiensi proses pengolahan air limbah (Kaiser, 2016).

Menurut Istirokhatun dkk (2017) dan Masduqi & Assomadi (2016), siklus mikroorganisme meliputi fase lag, eksponensial, stasioner, dan kematian yang lebih jelasnya sebagai berikut:

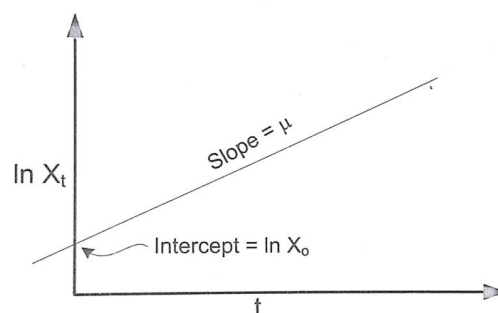
- a. Fase lag, mikroorganisme beradaptasi dengan lingkungannya. Selama fase ini tidak ada peningkatan pertumbuhan dengan laju pertumbuhan nol.
- b. Fase percepatan, laju pertumbuhan mulai meningkat.
- c. Fase eksponensial atau log, dalam pengolahan air limbah, fase inilah yang paling penting karena mikroorganisme mengalami pertumbuhan dengan kecepatan konstan. Pada tahap ini pertumbuhan mikroorganisme dipengaruhi oleh suhu, pH, nutrisi dalam media, dan sifat genetik mikroba.
- d. Fase pertumbuhan menurun, pada fase ini laju pertumbuhan menurun secara signifikan, seiring dengan menurunnya konsentrasi substrat secara perlahan.
- e. Fase stasioner, pertumbuhan mikroorganisme melambat secara tajam, laju pertumbuhannya bernilai sama dengan laju kematiannya. Ini disebabkan oleh ketersediaan nutrisi pada air limbah yang semakin berkurang. Oleh karena itu, jumlah mikroorganisme akan tetap.
- f. Fase kematian, terjadi karena beberapa hal, yakni kebutuhan nutrisi tidak mencukupi, kondisi lingkungan, dan tidak adanya energi.

2.4 Koefisien Pertumbuhan Mikroorganisme

Dalam Masduqi dan Assomadi (2016), pertumbuhan mikroorganisme dinyatakan dalam μ yang merupakan konstanta laju pertumbuhan spesifik. Dalam fase pertumbuhan mikroorganisme fase yang paling penting adalah fase log, karena mikroorganisme mengalami pertumbuhan dengan kecepatan konstan. Persamaan pertumbuhan mikroorganisme dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\ln X_t = -\mu \cdot t + \ln X_0 \dots \dots \dots (2.1)$$

Dari persamaan tersebut, dapat direpresentasikan dalam bentuk grafik, yang ditampilkan pada **Gambar 2.2**.

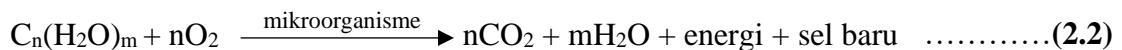


Gambar 2.2 Grafik Laju Pertumbuhan Spesifik

2.5 Biodegradasi Secara Aerob

Pada sistem lumpur aktif terjadi pengolahan secara aerob untuk mendegradasi bahan organiknya. Pengolahan limbah secara aerob merupakan proses penguraian bahan organik oleh mikroorganisme aerobik dengan oksigen sebagai pendukung dalam proses metabolismenya. Dalam proses aerobik, pentingnya suplai oksigen sangat besar karena mikroorganisme menggunakan oksigen terlarut untuk mengurai bahan organik. Aerator yang digunakan dalam pengolahan limbah cair akan mengkonsumsi energi yang besar untuk memenuhi kebutuhan oksigen bagi mikroorganisme tersebut (Shalindry dkk., 2015).

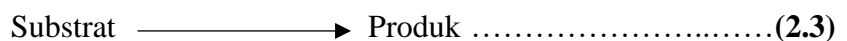
Dalam Masduqi dan Assomadi (2016), proses pengolahan secara aerob mengubah bahan organik menjadi CO₂, H₂O, energi, dan sel baru. Reaksi oksidasi bahan organik dapat dilihat sebagai berikut:



Pada sistem lumpur aktif, air limbah akan diaduk dengan cara diaerasi, sehingga homogen dan kebutuhan oksigen bagi mikroorganisme dapat terpenuhi. Mikroorganisme akan melakukan degradasi bahan organik yang terkandung pada air limbah. Tahapan proses degradasi bahan organik secara aerobik dimulai dengan glikolisis. Glikolisis merupakan tahap pertama, yakni glukosa akan diuraikan menjadi asam piruvat dan 2 ATP. Asam piruvat tersebut kemudian akan mengalami dekarboksilasi oksidatif menjadi asetil-CoA. Kemudian pada siklus krebs, asetil-CoA akan dioksidasi lebih lanjut dan menghasilkan CO₂, 2 ATP, 6 NADH, dan 2 FADH₂. NADH dan FADH yang dihasilkan oleh siklus krebs akan mengalirkan elektron pada rantai transpor elektron dari kompleks satu ke kompleks yang lain. Dari tahap ini akan menghasilkan gradien proton yang digunakan untuk sintesis ATP. ATP tersebut digunakan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi untuk aktivitas sel (Pelczar dkk., 1986). Lumpur aktif akan menghasilkan produk berupa sel baru (*bio-flock*) yang cenderung mudah mengendap, sehingga mudah terpisah dengan air yang telah diolah (Pranoto dkk., 2019).

2.6 Koefisien Degradasi Bahan Organik

Dalam Masduqi dan Assomadi (2016), koefisien degradasi bahan organik merujuk pada konstanta laju reaksi biokimia. Reaksi biokimia pada pengolahan air limbah sendiri merupakan proses kimiawi yang terjadi di dalam sel mikroorganisme. Laju reaksi merupakan bagian penting dalam kinetika kimia, karena laju reaksi dapat dikendalikan, apabila laju mekanisme reaksi diketahui. Suatu reaksi dapat dituliskan sebagai berikut:



Maka laju reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:

$$r = -\frac{d[\text{Substrat}]}{dt} = \frac{d[\text{Produk}]}{dt} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dari persamaan 2.4, menunjukkan bahwa laju penurunan konsentrasi substrat sama dengan laju penambahan produk. Reaksi biokimia dapat terjadi sesuai dengan orde reaksi atau pangkat reaksi yang terbagi menjadi 0, 1, dan 2. Reaksi orde 0 memiliki persamaan sebagai berikut:

$$C_t = -kt + C_o \dots\dots\dots(2.5)$$

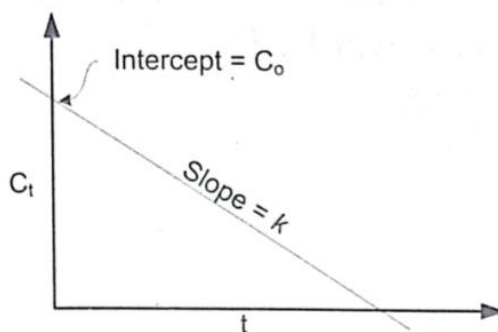
Reaksi orde 1 memiliki persamaan sebagai berikut:

$$\ln C_t = -kt + \ln C_0 \dots \dots \dots (2.6)$$

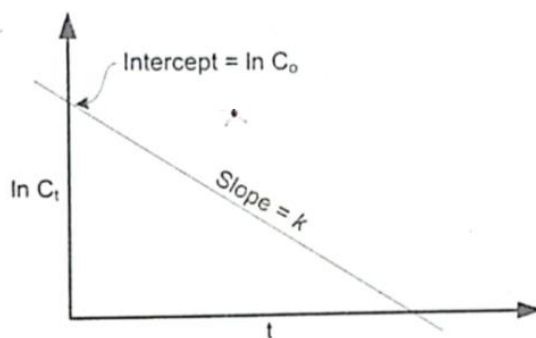
Reaksi orde 1 memiliki persamaan sebagai berikut:

$$\frac{1}{C_t} = kt + \frac{1}{C_0} \dots \dots \dots (2.7)$$

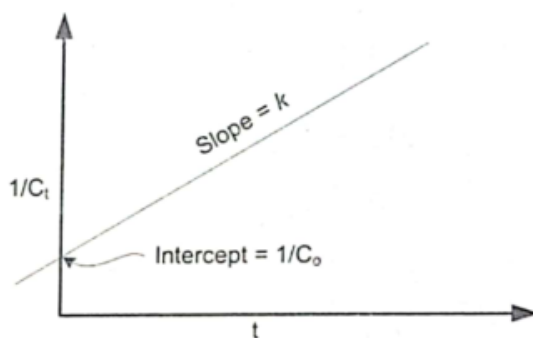
Dengan nilai C_0 merupakan konsentrasi awal, C_t merupakan konsentrasi akhir, t merupakan waktu, dan k merupakan konstanta laju reaksi. Orde-orde di atas dapat digambarkan dalam grafik yang ditampilkan pada **Gambar 2.3**.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2.3 Grafik Linier Reaksi (a) Orde 0, (b) Orde 1, dan (c) Orde 2

2.7 Eco Enzyme (EE)

Eco Enzyme (EE) merupakan produk dari proses fermentasi limbah sayur atau buah-buahan dengan penambahan air dan gula, menghasilkan cairan kecoklatan dengan aroma khas fermentasi yang kuat. Komposisinya terdiri dari limbah, gula, dan air dengan perbandingan 3:1:10 (Salvi & Kerker, 2020). Penambahan gula dalam pembuatan EE ini berperan sebagai sumber karbon (Prasetio dkk., 2021). EE memiliki karakteristik berwarna kecoklatan dengan aroma yang kuat yang timbul dari reaksi fermentasi. EE mengandung asam organik, garam mineral, dan rantai protein (*enzyme*) antara lain adalah *enzyme* protease, amilase, dan lipase. Dari kandungan tersebut EE dapat mendegradasi bahan organik menjadi lebih sederhana (Wikaningrum & El Dabo, 2022). *Enzyme* protease akan berperan dalam menghidrolisis ikatan peptida di mana protein diubah menjadi asam amino. Selain itu, enzim amilase dalam EE berperan dalam menguraikan pati menjadi gula sederhana, serta memiliki kemampuan untuk mencegah pertumbuhan patogen dengan cara memecah polisakarida yang diperlukan oleh patogen untuk bertahan hidup (Wikaningrum & Anggraini, 2022). Sedangkan untuk *enzyme* lipase berperan dalam memecah minyak dan lemak menjadi beberapa komponen meliputi digliserida, monogliserida, dan asam lemak (Wikaningrum & Pratamadina, 2022).

Eco Enzyme (EE) dapat dikatakan sebagai solusi kompleks yang sangat efektif, karena selain berperan penting dalam mengurangi jumlah sampah organik, produk EE juga memiliki berbagai manfaat signifikan dalam pengolahan air limbah, antara lain:

- a. Penambahan EE digunakan untuk menurunkan konsentrasi BOD-nya. Penurunan konsentrasi BOD terjadi karena EE berperan dalam menyuplai oksigen untuk mempercepat proses degradasi zat organik (Oviantari dkk., 2023).
- b. Penambahan EE berperan sebagai biokatalisator untuk meningkatkan kelarutan senyawa organik. EE juga berperan sebagai suplemen bagi mikroorganisme, EE menjadi booster bagi mikroorganisme untuk mempercepat proses degradasi senyawa organik (Kasih & Hendrasarie, 2023).

Dengan demikian, EE tidak hanya membantu dalam mengurangi beban limbah organik yang harus ditangani oleh sistem pengolahan limbah, tetapi juga meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses pengolahan air limbah itu sendiri. Dalam Cooper (2000), menjelaskan bahwa penambahan *enzyme* berperan sebagai katalis yang meningkatkan laju reaksi kimia. Katalis enzimatik dapat diilustrasikan dalam molekul yang dipengaruhi oleh *enzyme* (substrat [S]) akan diubah menjadi hasil reaksi (produk [P]). Reaksi tersebut dapat ditulis sebagai berikut:



Dari reaksi tersebut dapat disimpulkan bahwa *enzyme* tidak mengubah kesetimbangan reaksi dan berfungsi sebagai katalis. Berdasarkan reaksi kimia (2.8), maka penambahan EE sebagai katalis dalam reaksi oksidasi bahan organik dapat ditulis sebagai berikut:



Hal ini sesuai dengan Kasih & Hendrasarie (2023), EE yang terdiri dari *enzyme* berperan sebagai suplemen mikroorganisme.

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya digunakan sebagai sumber rujukan untuk pengembangan dan mempermudah pelaksanaan penelitian yang ditampilkan pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu

No.	Sumber	Limbah	Karakteristik	Metode	Variasi EE	Hasil Penelitian
1	(Kasih & Hendrasarie, 2023)	Limbah restoran.	COD 1.821 mg/L MLSS 400 mg/L Minyak dan Lemak 748 mg/L	<i>Pre-treatment grease trap</i> dan proses lumpur aktif.	Variasi pada <i>grease trap</i> : 1% dan 5%. Variasi pada proses lumpur aktif: 1% dan 5%.	Penambahan EE menunjukkan peningkatan persentase <i>removal</i> minyak dan lemak serta COD baik pada tahap <i>grease trap</i> maupun proses lumpur aktif.
2	(Wikaningrum & El Dabo, 2022)	Limbah artifisial	Amonia 35,2 mg/L	Inkubasi dengan penambahan biokatalisator selama 5 jam.	Pada tahap 1, sebesar 2% Pada tahap 2, sebesar 2%, 6%, 8%, dan 10%.	Penambahan EE menunjukkan penurunan konsentrasi amonia yang signifikan dengan persentase penyisihan 25% untuk variasi EE 10%.
3	(Widyastuti dkk., 2023)	Limbah industri tahu.	COD 5.570 mg/L BOD ₅ 3.614 mg/L MLSS 232 mg/L	Inkubasi dengan penambahan biokatalisator selama 20 hari.	Variasi 10%, 15%, dan 20%.	Penambahan EE menunjukkan penurunan parameter COD, BOD, dan MLSS yang signifikan pada variasi konsentrasi EE 10%.
4	(Wikaningrum & Pratamadina, 2022)	Limbah artifisial	Minyak dan Lemak 20 mg/L	Eksperimental dengan sistem <i>batch</i> , selama 9 hari.	Variasi 5% dan tanpa penambahan EE	Penambahan EE menunjukkan peningkatan persentase penyisihan minyak dan lemak 30,17%.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

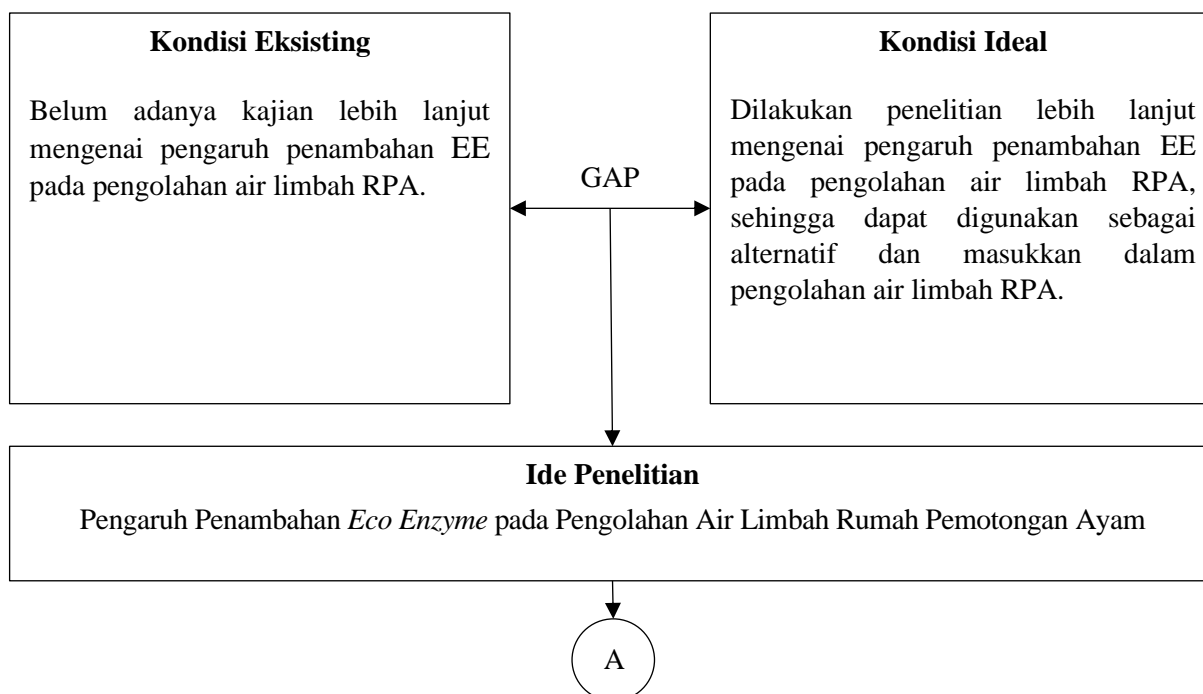
BAB III METODOLOGI

3.1 Gambaran Umum Penelitian

Penelitian yang dilakukan berskala laboratorium, dilaksanakan di *Workshop* dan Laboratorium Teknologi Pengolahan Air, Departemen Teknik Lingkungan FT-SPK ITS. Sampel air limbah yang digunakan pada penelitian ini merupakan air limbah RPA yang berasal dari kegiatan RPA di Pasar Krian Baru, Kecamatan Krian, Sidoarjo. Pertama, dilakukan pengujian karakteristik awal limbah RPA dengan parameter uji berupa BOD, COD, MLSS, NH₃-N, dan minyak lemak. Kemudian dilakukan *seeding* dan aklimatisasi selama 7 hari (perkiraan) dengan menggunakan mikroorganisme dari unit OD IPLT Keputih yang ditambahkan pada reaktor. Penelitian utama dilakukan dengan memindahkan hasil *seeding* dan aklimatisasi ke dalam *Batch Reactor* dengan menambahkan limbah RPA *fresh* yang telah diencerkan hingga memiliki konsentrasi COD 500, 1000, dan 1500 mg/L. Kemudian ditambahkan EE dengan variasi konsentrasi 2%, 5%, dan 10% v/v. Selanjutnya diaerasi dengan oksigen berlebih. Setelah itu dilakukan pengujian parameter pada setiap sampel yang diambil.

3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka mencakup konsepsi penelitian yang dibentuk dengan membandingkan kondisi ideal dan realita saat ini, yang menjadi panduan dari awal hingga akhir penelitian. Dengan menggunakan kerangka penelitian ini, kesalahan dalam pelaksanaan penelitian dapat diminimalkan, dan proses penelitian dapat dijalankan secara sistematis dan terstruktur. Ilustrasi kerangka penelitian dapat ditemukan pada **Gambar 3.1**.



A

Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi EE yang ditambahkan pada pengolahan air limbah RPA terhadap degradasi bahan organik?
2. Bagaimana pengaruh variasi konsentrasi air limbah RPA yang dapat diolah dengan penambahan EE untuk mendegradasi bahan organik?

Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh penambahan EE pada pengolahan air limbah RPA terhadap degradasi bahan organik.
2. Menganalisis konsentrasi air limbah yang paling optimal dalam mencapai efisiensi pengolahan tertinggi dengan penambahan EE.

Tinjauan Pustaka

Persiapan Penelitian

1. Mengurus perizinan penelitian ke IPLT Keputih Surabaya.
2. Mengurus perizinan pengujian sampel di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air
3. Mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan.

Variabel dan Parameter Penelitian

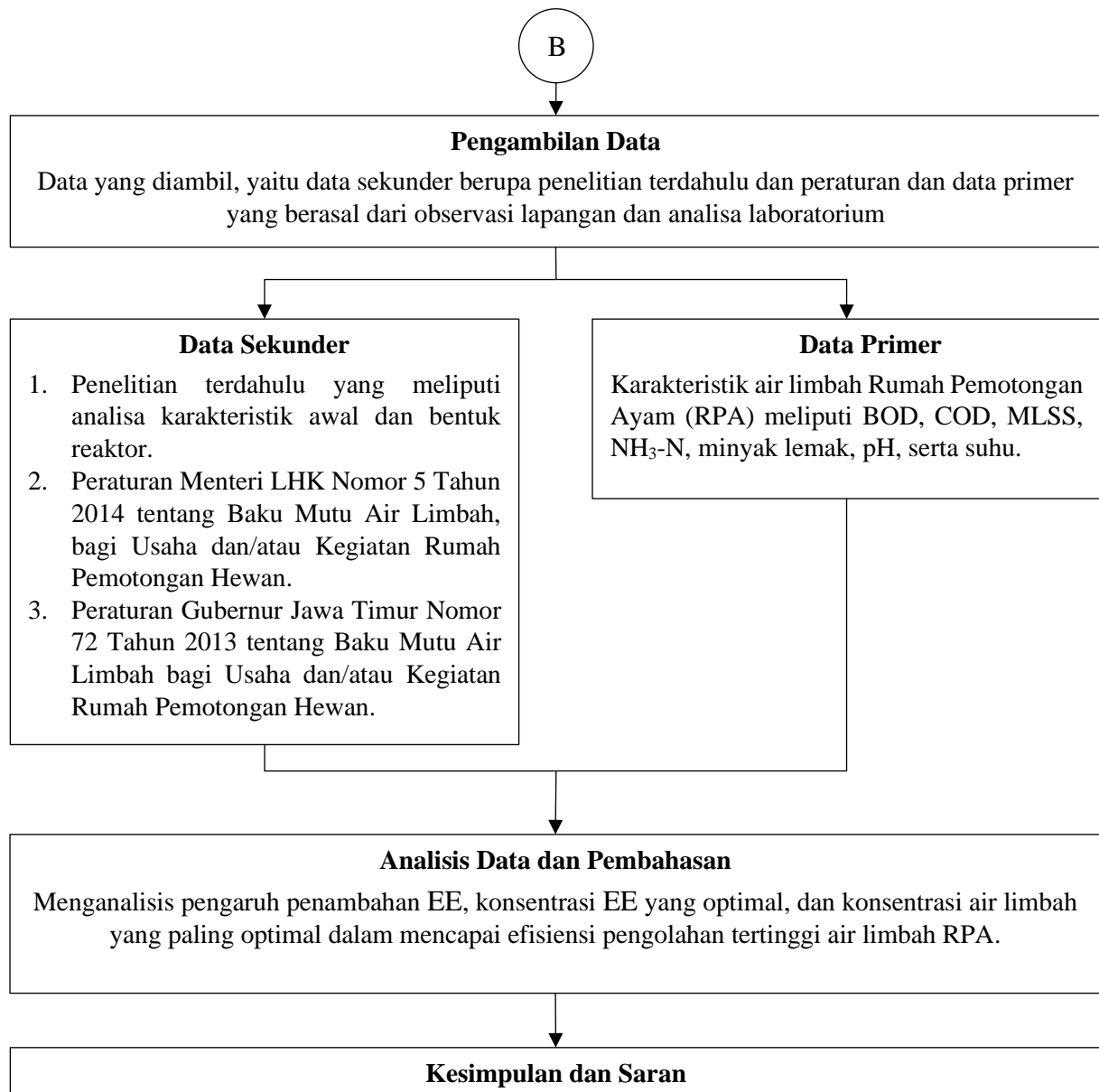
1. Variabel penelitian
 - a. Variabel bebas adalah konsentrasi EE dengan variasi 2%, 5%, dan 10%, serta konsentrasi air limbah RPA dengan variasi kadar COD 500, 1000, dan 1500 mg/L.
 - b. Variabel tetap adalah sampel air limbah RPA, volume reaktor, perlakuan aerasi (diberikan oksigen berlebih)
 - c. Variabel kontrol adalah kandungan MLSS pada setiap reaktor.
2. Parameter penelitian yang diuji laboratorium meliputi BOD, COD, MLSS, NH₃-N, dan minyak lemak.

Pengambilan Sampel

Pelaksanaan Penelitian

Penelitian terdiri penelitian pendahuluan (*seeding* dan aklimatisasi) dan penelitian utama.

B



Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.3 Metode Penelitian

Berupa rangkaian kegiatan penelitian yang mencakup penjelasan tentang tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian. Berikut adalah serangkaian kegiatan perancangan yang dilaksanakan:

3.3.1 Ide Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan sebagai respons terhadap permasalahan limbah cair RPA yang mengandung bahan organik yang tinggi. Diperlukan sistem pengolahan air limbah untuk mencegah dampak pencemaran lingkungan. Selain itu, limbah RPA juga berpotensi menjadi sumber penyebaran penyakit karena mengandung mikroorganisme patogen.

Berdasarkan kondisi tersebut, maka dilakukan penelitian ini dan didukung dengan studi literatur yang sesuai. Studi literatur sangat penting sebagai panduan untuk memahami dan menentukan langkah-langkah dari fase awal penelitian hingga proses penarikan kesimpulan.

3.3.2 Rumusan Masalah

Perumusan masalah ini timbul dari limbah cair RPA yang mengandung bahan organik yang tinggi dan melebihi baku mutu. Oleh karena itu, diperlukan tindakan pengelolaan limbah untuk mencegah terjadinya pencemaran lingkungan. Pengolahan limbah cair RPA dilakukan dengan penambahan EE sebagai alternatif pengolahan yang ekonomis.

3.3.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penambahan EE, konsentrasi EE yang optimal, dan konsentrasi air limbah yang paling optimal dalam mencapai efisiensi pengolahan tertinggi air limbah RPA.

3.3.4 Tinjauan Pustaka

Penelitian ini ditunjang dengan tinjauan pustaka yang memuat aspek-aspek kajian teori dan reaksi kimia yang berhubungan dengan penelitian ini. Kajian teori yang diperlukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Karakteristik Air Limbah Rumah Pemotongan Ayam (RPA)
2. Sistem Lumpur Aktif (*Activated Sludge*)
3. Pertumbuhan Mikroorganisme
4. Koefisien Pertumbuhan Mikroorganisme
5. Biodegradasi Secara Aerob
6. Koefisien Degradasi Bahan Organik
7. *Eco Enzyme* (EE)
8. Penelitian Terdahulu

3.3.5 Persiapan Penelitian

Dibutuhkan persiapan penelitian untuk memastikan penelitian dapat berjalan dengan lancar. Hal-hal yang perlu dipersiapkan antara lain:

1. Mengurus perizinan penelitian ke IPLT Keputih, Surabaya

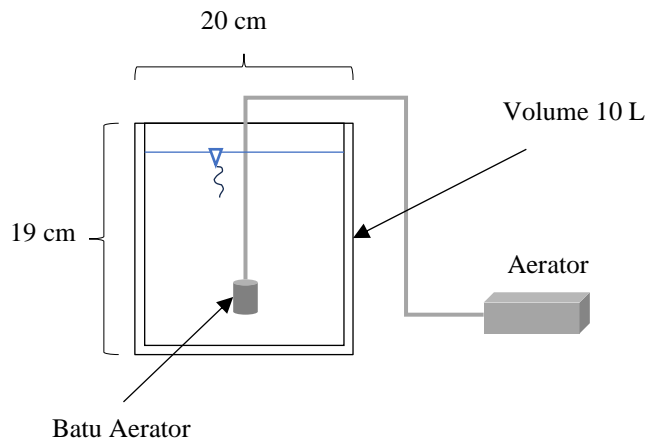
Perizinan dimulai dengan mengurus izin ke Bakesbangpol Jawa Timur. Kemudian dilakukan permohonan izin melalui Surabaya *Single Window* (SSW) untuk memperoleh surat keterangan perizinan penelitian. Surat tersebut ditujukan ke DSDABM Kota Surabaya untuk memperoleh surat perizinan untuk mendapatkan data. Setelah mendapatkan surat izin tersebut, maka didapatkan surat perizinan untuk dilakukan penelitian di IPLT Keputih, Surabaya. Selain itu diperlukan koordinasi dengan petugas IPLT Keputih untuk melakukan penelitian dan observasi lapangan.

2. Mengurus perizinan pengujian sampel di Laboratorium Teknologi Pengolahan Air

Pengujian di laboratorium dilakukan untuk mengetahui nilai dari parameter yang dianalisis. Perizinan untuk melakukan pengujian di Laboratorium dilakukan melalui IPEL.

3. Mempersiapkan alat dan bahan

Direncanakan reaktor *single chamber* dengan sistem *batch*. Ilustrasi reaktor secara detail dapat ditemukan pada **Gambar 3.2**.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.2 Reaktor (a) Sketsa, (b) Tampak Atas, (c) Rangkaian Reaktor, dan (d) Tampak Samping

Pada penelitian ini digunakan EE yang diproduksi oleh Wisma Herbal Surabaya. EE Wisma Herbal Surabaya dihasilkan dari proses fermentasi campuran limbah sayuran dan buah-buahan selama 3-4 bulan. Karakteristik fisik EE Wisma Herbal adalah berwarna kecoklatan dan memiliki $\text{pH} < 4$. EE yang digunakan disimpan dalam pendingin untuk memastikan EE memiliki kondisi yang seragam saat digunakan. EE Wisma Herbal Surabaya dapat ditemukan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 EE Wisma Herbal Surabaya

3.3.6 Variabel dan Parameter Penelitian

1. Variabel Penelitian

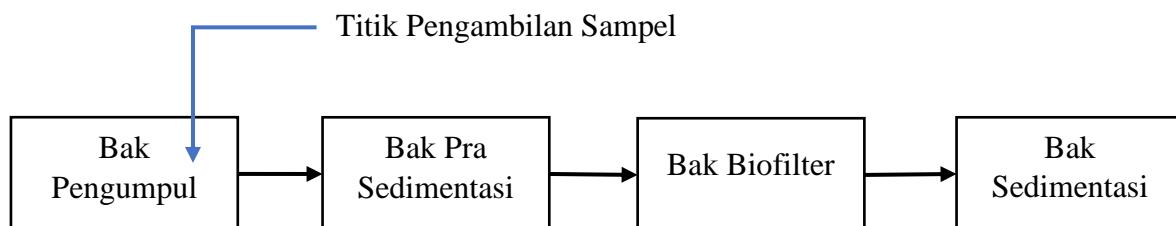
Pada penelitian ini variabel bebas adalah konsentrasi EE yang ditambahkan dengan variasi 2%, 5%, dan 10% v/v, serta konsentrasi air limbah RPA dengan variasi konsentrasi COD 500, 1000, dan 1500 mg/L. Untuk variabel terikat adalah konsentrasi parameter BOD, COD, MLSS, NH₃-N, dan minyak lemak. Dan untuk variabel kontrol pada penelitian ini adalah konsentrasi MLSS pada reaktor, pH, dan suhu.

2. Parameter Penelitian

Parameter yang diuji pada penelitian ini meliputi BOD, COD, MLSS, NH₃-N, dan minyak lemak.

3.3.7 Pengambilan Sampel

Sampel limbah cair RPA yang digunakan diambil dari RPA yang berlokasi di Pasar Krian Baru, Kecamatan Krian, Sidoarjo. Titik pengambilan sampel limbah cair RPA dapat dilihat pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.4 Diagram Alir IPAL Pasar Krian Baru

IPAL RPA pada Pasar Krian Baru terdiri dari 4 unit yakni bak pengumpul yang berfungsi untuk mengumpulkan air limbah RPA dari beberapa lapak jasa potong ayam. Kemudian pada unit pra-sedimentasi terjadi pengendapan awal partikel yang mudah mengendap. Selanjutnya unit biofilter, pada unit ini dilakukan pengolahan secara biologis dengan menggunakan media kerikil. Dan yang terakhir merupakan bak sedimentasi, untuk mengendapkan lumpur pada air limbah RPA dari unit biofilter. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *grab sampling* pada bak pengumpul, yang dilakukan sebanyak 2 kali untuk

penelitian pendahuluan yang meliputi pengujian karakteristik awal, tahap *seeding* dan aklimatisasi dan untuk penelitian utama, yakni *running* reaktor.

3.3.8 Pelaksanaan Penelitian

1. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan meliputi tahap *seeding* dan aklimatisasi. Tahap ini dilaksanakan sebelum penelitian utama berjalan. Tahapan *seeding* dilakukan untuk mengembangbiakkan mikroorganisme dengan memberikan makanan berupa bahan organik. *Seeding* mikroorganisme dilakukan dengan memberikan sumber organik berupa sampel air limbah RPA dan gula pada mikroorganisme dari unit *Oxidation Ditch* (OD) IPLT Keputih. Pemberian sampel air limbah dan gula berperan sebagai sumber organik bagi mikroorganisme agar tetap hidup. Dilakukan perhitungan untuk jumlah gula yang ditambahkan dan untuk perhitungannya dapat dilihat pada **Lampiran A**. Kemudian untuk tahap aklimatisasi dilakukan pengadaptasian mikroorganisme yang telah di-*seeding* agar tidak mengalami *shock loading* dan mikroorganisme menjadi stabil serta siap dalam mendegradasi bahan organik. Aklimatisasi dilakukan selama 7 hari (perkiraan). Selama tahap ini berjalan, dilakukan pengamatan penurunan konsentrasi COD hingga mencapai kondisi *steady state* dan konsentrasi MLSS.

2. Penelitian Utama

Dalam kriteria desain SBR (*Sequencing Batch Reactor*), nilai MLSS berkisar pada 2000-5000 mg/L (Metcalf & Eddy, 2003). Pada penelitian ini, untuk mengoperasikan reaktor digunakan nilai MLSS 2500 mg/L dan volume dalam reaktor sebanyak 4000 mL (tanpa EE). Air limbah RPA yang telah diambil, diuji nilai COD dan MLSS-nya. Sedangkan untuk lumpur hasil tahap *seeding* dan aklimatisasi, dilakukan uji MLSS. Setelah didapatkan nilai MLSS dan COD dari air limbah RPA dan lumpur, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai MLSS 2500 mg/L pada setiap reaktor.

Dilakukan pengenceran air limbah RPA untuk *running* variasi konsentrasi COD

Pengenceran COD

$$M1 \times V1 = M2 \times V2$$

Dilakukan hal yang sama untuk nilai MLSS-nya

Pengenceran MLSS

$$M1 \times V1 = M2 \times V2$$

Kemudian dilakukan perhitungan MLSS reaktor untuk variasi penambahan EE, sehingga didapatkan nilai setiap komposisi air limbah, lumpur, dan EE.

$$\text{MLSS Reaktor} = \text{MLSS air limbah RPA} + \text{Lumpur}$$

$$\text{MLSS} \times \text{Vol} = (\text{MLSS} \times \text{Vol (air limbah RPA)}) + (\text{MLSS} \times \text{Vol (Lumpur)})$$

$$2500 \text{ mg/L} \times (4 + \text{vol EE yang ditambahkan}) = (\text{MLSS air limbah RPA} \times (4 \text{ L-Vol Lumpur})) + (\text{MLSS Lumpur} \times \text{Vol Lumpur})$$

Dari hasil perhitungan tersebut, didapatkan komposisi volume air limbah RPA, lumpur, dan EE untuk setiap reaktor. Kemudian dilakukan pencampuran dan di aerasi. Didasarkan pada penelitian terdahulu, pelaksanaan penelitian utama dilakukan selama 4 hari. Dilakukan pengambilan sampel pada jam ke-0, 1, 3, 6, 12, 24, 48, 72, dan 96.

3.3.9 Pengambilan Data

1. Pengambilan Data

Data yang diambil meliputi data primer dan sekunder. Data sekunder berupa data dari penelitian sebelumnya yang memuat analisa karakteristik air limbah RPA dan bagaimana dampaknya terhadap lingkungan dan manusia bila tidak diolah dengan baik. Sedangkan untuk data primer berupa data yang didapatkan melalui uji laboratorium dan observasi. Data primer yang diperoleh merupakan hasil analisis laboratorium terhadap sampel yang diambil dari reaktor. Matriks penelitian dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Matriks Sampel Penelitian

Variasi Konsentrasi <i>Eco Enzyme</i> (EE)	Variasi Konsentrasi Air Limbah RPA (Konsentrasi COD)		
	1 (500 mg/L)	2 (1000 mg/L)	3 (1500 mg/L)
Tanpa Penambahan (K)	Hasil K1	Hasil K2	Hasil K3
Konsentrasi 2% (A)	Hasil A1	Hasil A2	Hasil A3
Konsentrasi 5% (B)	Hasil B1	Hasil B2	Hasil B3
Konsentrasi 10% (C)	Hasil C1	Hasil C2	Hasil C3

Keterangan:

- K = Variasi tanpa penambahan EE
- A = Variasi penambahan EE 2%
- B = Variasi penambahan EE 5%
- C = Variasi penambahan EE 10%
- 1 = Variasi Konsentrasi COD 500 mg/L
- 2 = Variasi Konsentrasi COD 1000 mg/L
- 3 = Variasi Konsentrasi COD 1500 mg/L

Setiap sampel dilakukan pengujian parameter dengan menggunakan metode ditampilkan pada **Tabel 3.2**

Tabel 3.2 Standar Pengujian Parameter

Analisa	Metode	Cara Pengujian
<i>Biochemical Oxygen Demand</i> (BOD)	SNI 6989.72:2009	Titrasi winkler
<i>Chemical Oxygen Demand</i> (COD)	SNI 6989.73:2009	Refluks tertutup secara titrimetri
<i>Mixed Liqour Suspended Solids</i> (MLSS)	SNI 06-6989.3:2004	<i>Vacuum filter</i> dan gravimetri
Amonia (NH ₃ -N)	SNI 06-6989.30-2005	Spektrofotometer secara fenat
Minyak dan Lemak	SNI 6989.10-2011	Gravimetri

Berdasarkan **Tabel 3.1** dan **Tabel 3.2**, dapat dibuat tabel matriks benda uji yang dimulai dari tahap penelitian pendahuluan dan utama. Pada penelitian pendahuluan dilakukan pengujian limbah RPA awal dan kemudian dilanjutkan dengan pengujian sampel dari tahap *seeding* dan aklimatisasi. Sedangkan, pada penelitian utama dilakukan pengujian limbah RPA awal kembali untuk menyesuaikan konsentrasi COD dan sampel sebanyak 9 buah setiap reaktor. Matriks benda uji dapat ditemukan pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Matriks Jumlah Benda Uji

Sampel	Lama Pengujian	Parameter Uji				
		BOD	COD	MLSS	NH ₃ -N	Minyak dan Lemak
Limbah RPA Awal 0	-	1	1	1	1	1
Seeding & Aklimatisasi 0	4 hari		7	7		
Limbah RPA Awal 1	-	1	1	1	1	1
Hasil K1	4 hari	9	9	9	9	9
Hasil A1	4 hari	9	9	9	9	9
Hasil B1	4 hari	9	9	9	9	9
Hasil C1	4 hari	9	9	9	9	9
Limbah RPA Awal 2	-	1	1	1	1	1
Hasil K2	4 hari	9	9	9	9	9
Hasil A2	4 hari	9	9	9	9	9
Hasil B2	4 hari	9	9	9	9	9
Hasil C2	4 hari	9	9	9	9	9
Limbah RPA Awal 3	-	1	1	1	1	1
Hasil K3	4 hari	9	9	9	9	9
Hasil A3	4 hari	9	9	9	9	9
Hasil B3	4 hari	9	9	9	9	9
Hasil C3	4 hari	9	9	9	9	9
Total		112	119	119	112	112

2. Analisis Laboratorium

Sampel yang telah diambil dilakukan uji laboratorium untuk parameter BOD, COD, MLSS, NH₃-N, dan minyak lemak. Mengingat lama waktu simpan untuk sampel BOD dan MLSS, maka botol sampel dibedakan dan disimpan pada lemari pendingin. Sedangkan untuk sampel analisis COD, NH₃-N, dan minyak lemak pada botol yang berbeda diberi larutan asam pekat hingga pH sampel >2 dan disimpan pada lemari pendingin.

- a) Analisis MLSS dilakukan dengan *Vacuum* filter dan secara gravimetri. Kertas saring disiapkan dengan mengeringkannya pada suhu 105°C selama 1 jam untuk mendapatkan berat tetap. Kertas saring yang telah dioven, didesikator untuk menstabilkan suhu. Kemudian kertas saring ditimbang untuk mengetahui berat awal (a gram). Kertas saring diletakkan ke dalam *vacuum filter* dengan ditambahkan aquades agar dapat melekat dengan baik. Sampel yang telah disiapkan dimasukkan sebanyak 10 mL. Kertas saring dan residu dioven pada suhu 105°C selama 1 jam untuk mendapatkan berat tetap kertas saring dan residu. Kemudian, didesikator dan ditimbang dengan neraca analitik (b gram). Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai MLSS dengan persamaan berikut:

$$MLSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(b - a(\text{gram}))}{Volume\ sampel\ (mL)} \times 1000 \frac{mg}{gram} \times 1000 \frac{mL}{L}$$

Kemudian, untuk analisis MLVSS sebagai parameter pendukung, dilakukan secara gravimetri. Cawan porselin dioven selama 1 jam dan didesikator. Cawan porselin kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat awal (c gram). Kertas dan residu diletakkan ke dalam cawan porselin yang telah ditimbang, kemudian di-*furnace* dengan suhu 550°C selama 1 jam. Cawan kemudian didesikator. Cawan porselin dan abu ditimbang menggunakan timbangan analitik dan didapatkan berat akhir (d gram).

Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai MLVSS dengan persamaan berikut:

$$\text{MLVSS} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(b - (d - c))(\text{gram})}{\text{Volume sampel (mL)}} \times 1000 \frac{\text{mg}}{\text{gram}} \times 1000 \frac{\text{mL}}{\text{L}}$$

- b) Analisis BOD dilakukan dengan menggunakan metode titrasi winkler. Sampel dari reaktor diendapkan selama 1,5 jam untuk mendapatkan supernatannya. Kemudian dilakukan pengenceran untuk analisis permanganat, sehingga didapatkan besaran pengenceran. Ditambahkan asam pekat sebanyak 2,5 mL dan kalium permanganat sebanyak 20-30 tetes hingga berwarna *rose*. Campuran tersebut dipanaskan hingga warna memudar. Kemudian ditambahkan kalium dikromat sebanyak 10 mL dan dipanaskan kembali. Kemudian ditambahkan 1 mL asam oksalat 0,1 N, sampel menjadi jernih, dan kemudian dititrasi dengan Kalium Dikromat 0,01 N hingga warnanya berubah. Dilakukan perhitungan angka KMnO_4 dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{\text{Angka KMnO}_4}{3 - 5}$$

Kemudian, sampel ditambahkan air pengencer sesuai dengan perhitungan pengenceran pada labu takar 500 mL. Air dari labu takar tersebut kemudian dituangkan ke dalam dua botol winkler berukuran 300 dan 150 mL, dengan air pengencer digunakan sebagai blanko. Botol winkler 300 mL diletakkan di inkubator pada suhu 20°C selama 5 hari. Dilakukan analisis oksigen terlarut dalam air yang terdapat dalam botol winkler berukuran 150 mL dan blanko. Setelah 5 hari, sampel dan blanko pada botol winkler 300 mL dianalisis oksigen terlarut-nya. Kemudian dilakukan perhitungan dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} \text{Oksigen Terlarut} \left(\frac{\text{mg}}{\text{LO}_2} \right) &= \frac{(\text{volume titrasi mL}) \times N \times 8000}{100 \text{ mL}} \\ \text{BOD} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) &= \frac{((X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)) \times (1 - P')}{P'} \\ P' &= \frac{\text{Volume sampel (mL)}}{P} \end{aligned}$$

- c) Metode yang digunakan untuk analisis COD adalah refluks tertutup secara titrimetri. Sampel dari reaktor diendapkan selama 1,5 jam untuk mendapatkan supernatannya. Kemudian dilakukan pengenceran dan diambil 2,5 mL dan dimasukkan ke vial COD. Kemudian larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dan Hg_2SO_4 dan larutan campuran Ag_2SO_4 ditambahkan secara berturut-turut sebanyak 1,5 mL dan 3,5 mL. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam *heating block* dan diatur suhunya 150°C dan selama 2 jam. Setelah itu, campuran ditunggu hingga dingin, ditambahkan indikator ferroin, dan dititrasi dengan larutan FAS 0,05 N. Kemudian dilakukan perhitungan COD dengan rumus berikut:

$$\text{COD} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(\text{Blanko (mL)} - (\text{sampel (mL)}) \times 0,05 \text{ N} \times \text{faktor Pengenceran}}{\text{Volume sampel (mL)}}$$

- d) Analisis $\text{NH}_3\text{-N}$ dilakukan dengan menggunakan metode spektrofotometer secara fenat. Sampel dari reaktor diendapkan selama 1,5 jam untuk mendapatkan supernatannya.

Kemudian dilakukan pengenceran dan dimasukkan sampel sebanyak 100 mL ke erlenmeyer 250 mL. Kemudian sebanyak 25 mL digest solution TKN ditambahkan ke dalam beaker glass. Kemudian dilakukan destruksi melalui pemanasan dengan *hot plate* di lemari asam minimal selama 2,5 jam. Saat proses destruksi, ditunggu hingga dingin, dan perlu ditambahkan aquades apabila sampel kurang dari 100 mL. Kemudian diambil 25 mL sampel. Ditambahkan larutan Nessler dan larutan garam signet secara berturut-turut sebanyak 1 mL dan 1,25 mL. Campuran tersebut didiamkan selama 10 menit. Dilakukan pengukuran dengan menggunakan spektrofotometer. Nilai amonia total dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$y = ax + b$$

$$\text{Kadar Amonia total } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{\text{Absorbansi} - b}{a}$$

- e) Analisis minyak dan lemak dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri. Sampel dari reaktor diendapkan selama 1,5 jam untuk mendapatkan supernatannya. Labu destilasi dioven selama 1 jam hingga mendapatkan berat tetap. Kemudian labu tersebut didesikator dan ditimbang sebagai berat awal (a gram). Dituangkan 25 mL sampel ke labu pemisah. Kemudian ditambahkan 1 mL HCl sebanyak 1 mL. Ditambahkan kloroform sebanyak 25 mL dan dikocok secara perlahan. Sesekali penutup labu pemisah dibuka untuk mengeluarkan gas yang dihasilkan. Labu pemisah dikocok hingga tidak ada gas yang tersisa. Gelas pemisah diletakkan pada beaker glass hingga larutan menjadi stabil, serta minyak dan lemak yang terbentuk lebih stabil. Apabila minyak dan lemak sudah stabil, buka keran penutup pada labu pemisah untuk mengeluarkan minyak dan lemak yang akan diwadahi dengan labu destilasi. Dilakukan destilasi pada labu pemisah yang berisi minyak, lemak, dan kloroform untuk memisahkan kloroform, sehingga hanya tersisa minyak dan lemak. Proses destilasi terjadi pada *hot plate* pada suhu $\pm 70^{\circ}\text{C}$. Kemudian labu destilasi dioven dengan suhu $\pm 70^{\circ}\text{C}$ selama 30 - 45 menit agar tidak ada kloroform yang tersisa. Labu destilasi yang telah dioven, didesikator selama 15 menit dan ditimbang untuk mendapatkan berat akhir yang tetap (b gram). Perhitungan dilakukan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Minyak dan Lemak } \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) = \frac{(b - a(\text{gram}))}{\text{Volume sampel (mL)}} \times 1000 \frac{\text{mg}}{\text{gram}} \times 1000 \frac{\text{mL}}{\text{L}}$$

3.3.10 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan pada penelitian ini dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian:

a. Tujuan 1: Menganalisis pengaruh penambahan EE pada pengolahan air limbah RPA terhadap degradasi bahan organik

Analisis terkait pengaruh penambahan EE pada pengolahan air limbah RPA dilakukan dengan menggunakan data-data dari hasil uji laboratorium untuk setiap sampel. Setiap sampel yang diambil diuji nilai parameter kualitas air meliputi BOD dengan metode titrasi winkler, COD dengan metode refluks tertutup secara titrimetri, MLSS dengan metode *vacuum filter* dan gravimetri, $\text{NH}_3\text{-N}$ dengan metode spektrofotometer secara fenat, dan Minyak dan Lemak dengan metode gravimetri. Data-data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk setiap parameter kualitas air, yakni grafik persentase *removal* terhadap lama waktu aerasi.

Untuk menjawab tujuan 1, dilakukan analisis mengenai perbedaan trend antara variasi kontrol, penambahan EE 2%, 5%, dan 10% v/v. Kemudian ditentukan konsentrasi EE yang optimal atau memiliki persentase *removal* yang paling tinggi pada setiap parameter kualitas air dan variasi konsentrasi COD. Analisis dilakukan secara deskriptif terhadap analisa setiap parameter kualitas air yang telah dikumpulkan untuk setiap variasi konsentrasi penambahan EE. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan pemahaman terkait pengaruh penambahan EE pada pengolahan air limbah RPA terhadap degradasi bahan organik.

b. Tujuan 2: Menganalisis konsentrasi air limbah yang optimal dalam mencapai efisiensi pengolahan tertinggi dengan penambahan EE

Analisis terkait konsentrasi air limbah yang paling optimal dalam mencapai efisiensi pengolahan tertinggi dilakukan terhadap nilai persentase *removal* untuk parameter kualitas air meliputi BOD, COD, MLSS, NH₃-N, dan minyak lemak. Data-data disajikan dalam bentuk grafik untuk setiap parameter kualitas air, yakni grafik persentase *removal*.

Untuk menjawab tujuan 2, dilakukan analisis mengenai perbedaan trend antara variasi konsentrasi COD pada air limbah RPA 500, 1000, dan 1500 mg/L. Kemudian ditentukan konsentrasi COD air limbah RPA yang optimal atau memiliki efisiensi pengolahan paling tinggi pada setiap parameter kualitas air dan variasi penambahan EE. Data-data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk setiap parameter kualitas air. Kemudian dilakukan analisis secara deskriptif terhadap analisa setiap parameter kualitas air yang telah dikumpulkan untuk setiap variasi konsentrasi air limbah RPA. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan pemahaman terkait konsentrasi air limbah yang paling optimal dalam mencapai efisiensi pengolahan tertinggi dengan penambahan EE.

3.3.11 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan merujuk pada tujuan penelitian yang meliputi pengaruh penambahan dan variasi konsentrasi EE serta variasi konsentrasi air limbah RPA terhadap degradasi bahan organik. Kesimpulan tersebut disajikan sebagai poin-poin singkat dan jelas serta menjawab tujuan penelitian dan sesuai dengan data yang diperoleh. Kemudian terdapat saran penelitian yang memuat gap dari penelitian yang dapat digunakan sebagai dasar dan dilakukan penelitian untuk mengembangkannya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penelitian Pendahuluan

4.1.1 Uji Karakteristik Awal

Sampel limbah cair diambil dari bak pengumpul IPAL RPA yang ditampilkan pada **Gambar 4.1**. Selain itu, dilakukan penyaringan dengan menggunakan saringan berukuran besar (kasar) saat pengambilan sampel untuk mencegah adanya padatan atau limbah padatnya. Setelah dilakukan pengambilan sampel air limbah RPA, kemudian dilakukan uji karakteristik awal. Parameter untuk uji karakteristik awal meliputi BOD, COD, MLSS, $\text{NH}_3\text{-N}$, dan minyak lemak. Hasil uji karakteristik awal limbah cair RPA dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.



Gambar 4.1 (a) Bak Pengumpul Limbah Cair RPA dan (b) Pengambilan Limbah Cair RPA

Tabel 4.1 Karakteristik Limbah Cair RPA

Tanggal Pengambilan		Parameter Uji							
		COD (mg/L)	BOD (mg/L)	MLSS (mg/L)	MLVSS (mg/L)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	Minyak dan Lemak (mg/L)	Suhu	pH
18/03/2024	Seeding & Aklimatisasi	2720	1904	790	770	113,036	88	30,1	7,78
27/03/2024	Running 1	2000	917,87	225	185	91,975	156	29,2	7,83
17/04/2024	Running 2	1920	908	570	510	162,418	136	29,5	7,85
24/04/2024	Running 3	2133	1031,39	400	312	72,442	224	29,3	7,88
Baku Mutu		200	100	100	-	25	15	-	6-9

Kemudian dilakukan pengenceran untuk mendapatkan konsentrasi COD 500, 1000, dan 1500 mg/L. Hasil perhitungan karakteristik limbah cair setelah diencerkan ditampilkan pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Karakteristik Limbah Cair RPA yang Diolah

Tanggal Pengambilan		COD (mg/L)	BOD (mg/L)	MLSS (mg/L)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	Minyak dan Lemak (mg/L)
27/03/2024	Running 1	500	236,45	148	42,29	35,41
17/04/2024	Running 2	1000	458,9	112,5	45,98	78

Tanggal Pengambilan	COD (mg/L)	BOD (mg/L)	MLSS (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	Minyak dan Lemak (mg/L)
24/04/2024 Running 3	1500	725,3	281,29	50,9	95,6
Baku Mutu	200	100	100	25	15

Dari **Tabel 4.1** dan **Tabel 4.2**, karakteristik limbah cair RPA melebihi baku mutu yang mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan Rumah Pemotongan Hewan. Selain itu, limbah cair RPA yang dianalisis memiliki rasio BOD/COD sebesar 0,4. Dengan rasio tersebut, menunjukkan bahwa limbah cair RPA berada pada *range biodegradable*, yakni 0,2-0,5; sehingga dapat dilakukan pengolahan secara biologis (Samudro & Mangkoedihardjo, 2010). Sedangkan, untuk karakteristik EE yang digunakan memiliki pH sebesar 3,9; berbau busuk yang tidak begitu menyengat, dan berwarna kecoklatan.

4.1.2 Preparasi Lumpur

Lumpur yang digunakan diambil dari unit *Oxidation Ditch* (OD) IPLT Keputih yang kemudian dilakukan uji kualitas awal dan *seeding* dan aklimatisasi untuk meningkatkan kuantitas mikroorganisme dan membuat mikroorganisme dapat menyesuaikan diri dengan limbah cair RPA yang akan menjadi substratnya. Hasil uji karakteristik awal lumpur ditampilkan pada **Tabel 4.3**. Komposisi lumpur, air limbah RPA, dan gula untuk proses *seeding* dan aklimatisasi dapat ditinjau pada **Tabel 4.4**. Dokumentasi pengambilan sampel dan proses *seeding* dan aklimatisasi ditampilkan pada **Gambar 4.2**.

Tabel 4.3 Uji Karakteristik Awal Lumpur IPLT Keputih

Parameter	Nilai	Satuan
MLSS	3600	mg/L
MLVSS	2300	mg/L

Tabel 4.4 Komposisi untuk Tahap *Seeding* dan Aklimatisasi

Air Limbah	Lumpur	Gula
16L	4 L	16,15 g



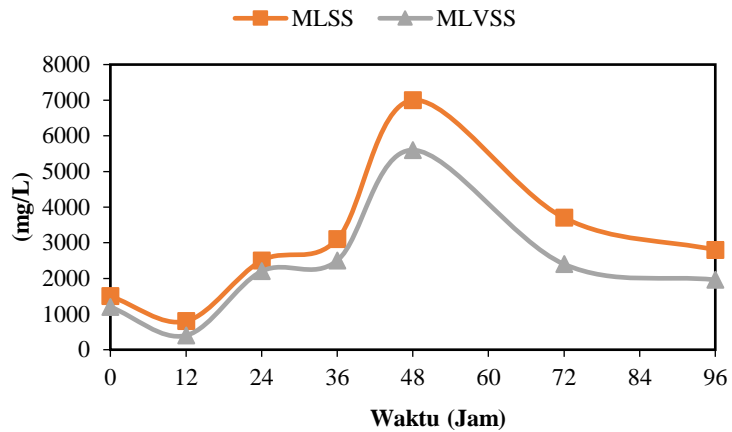
(a)



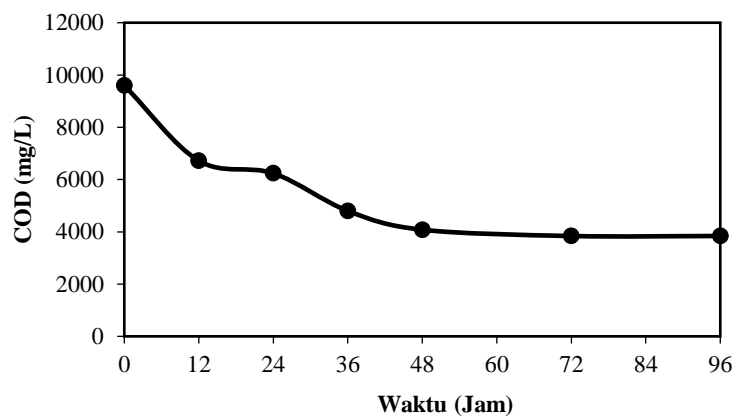
(b)

Gambar 4.2 (a) Pengambilan Lumpur IPLT Keputih dan (b) *Seeding* dan Aklimatisasi

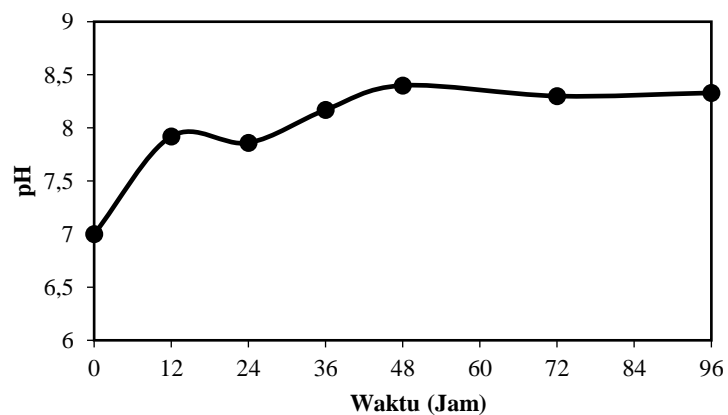
Data hasil pengujian konsentrasi MLSS, COD, dan pH, dapat ditinjau pada **Gambar 4.3** hingga **Gambar 4.5**.



Gambar 4.3 Konsentrasi MLSS dan MLVSS pada Tahap *Seeding* dan Aklimatisasi



Gambar 4.4 Konsentrasi COD pada Tahap *Seeding* dan Aklimatisasi



Gambar 4.5 pH Tahap *Seeding* dan Aklimatisasi

Dari **Gambar 4.3**, menunjukkan bahwa terjadi kenaikan baik konsentrasi MLSS dan MLVSS pada jam ke-0 hingga 48. Ini juga menandakan bahwa pertumbuhan mikroorganisme pada lumpur aktif berjalan dengan baik. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh substrat berupa air limbah RPA yang mendukung terjadinya pertumbuhan mikroorganisme pada lumpur aktif (Prasetio, 2021). Sedangkan pada **Gambar 4.4**, terjadi penurunan konsentrasi COD dan mengalami kondisi *steady state* pada jam ke-72 dan 96. Kemudian, pada **Gambar 4.5**, nilai pH

selama tahap ini mengalami kenaikan. Kenaikan pH disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme dalam proses mendegradasi bahan organik (Gilalom dkk., 2021).

4.1.3 Preparasi Komposisi Air Limbah, Lumpur, dan EE

Setelah didapatkan nilai MLSS dan COD dari air limbah RPA dan lumpur pada karakteristik awal, kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai MLSS 2500 mg/L pada setiap reaktor.

Diketahui:

COD air Limbah RPA 2000 mg/L (untuk *running* variasi konsentrasi COD 1000 mg/L)

MLSS air limbah RPA 225 mg/L

MLSS lumpur 13640 mg/L

Dilakukan pengenceran untuk *running* variasi konsentrasi COD 1000 mg/L

$$\begin{aligned} \text{COD} &= 1000 \text{ mg/L} \\ M1 \times V1 &= M2 \times V2 \\ 2.000 \text{ mg/L} \times V1 &= 1000 \text{ mg/L} \times 14 \text{ L} \\ 2.000 \text{ mg/L} \times V1 &= 14000 \text{ mg} \\ V1 &= 7 \text{ L} \end{aligned}$$

Sehingga nilai MLSS air limbah RPA menjadi

$$\begin{aligned} \text{MLSS} &= 112,5 \text{ mg/L} \\ M1 \times V1 &= M2 \times V2 \\ 225 \text{ mg/L} \times 7 \text{ L} &= M2 \times 14 \text{ L} \\ 1.575 \text{ mg} &= M2 \times 14 \text{ L} \\ M2 &= 112,5 \text{ mg} \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan MLSS reaktor untuk variasi penambahan EE 2%, sehingga total volumenya menjadi 4080 mL.

$$\begin{aligned} \text{MLSS Reaktor} &= \text{MLSS Air limbah RPA} + \text{Lumpur} \\ \text{MLSS} \times \text{Vol} &= (\text{MLSS} \times \text{Vol (air limbah RPA)}) + (\text{MLSS} \times \text{Vol (Lumpur)}) \\ 2500 \text{ mg/L} \times 4,08 \text{ L} &= (112,5 \text{ mg/L} \times (4 \text{ L-Vol Lumpur})) + (13640 \text{ mg/L} \times \text{Vol Lumpur}) \\ 10200 \text{ mg} &= 450 \text{ mg} - 112,5 \text{ mg/L.Vol Lumpur} + 13640 \text{ mg/L.Vol Lumpur} \\ 9750 \text{ mg} &= 13528 \text{ mg/L.Vol Lumpur} \\ \text{Vol Lumpur} &= 0,721 \text{ L} \\ \text{Air Limbah RPA} &= 4 - 0,721 \text{ L} \\ &= 3,279 \text{ L} \\ 2\% \text{ EE} &= 0,08 \text{ L} \end{aligned}$$

Dengan langkah yang sama, dilakukan perhitungan untuk setiap variasi. Hasil perhitungan ditampilkan pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Komposisi Air Limbah, Lumpur, dan EE untuk Penelitian Utama

Kegiatan	Variasi				Air Limbah	Lumpur	Eco Enzyme	Volume Total
Running Variasi 1								
K1	COD	500	EE	0%	3,232 L	0,768 L	0 L	4 L
A1	COD	500	EE	2%	3,215 L	0,785 L	0,08 L	4,08 L
B1	COD	500	EE	5%	3,191 L	0,809 L	0,2 L	4,2 L
C1	COD	500	EE	10%	3,15 L	0,85 L	0,4 L	4,4 L
Running Variasi 2								
K2	COD	1000	EE	0%	3,294 L	0,706 L	0 L	4 L
A2	COD	1000	EE	2%	3,279 L	0,721 L	0,08 L	4,08 L
B2	COD	1000	EE	5%	3,257 L	0,743 L	0,2 L	4,2 L
C2	COD	1000	EE	10%	3,22 L	0,78 L	0,4 L	4,4 L
Running Variasi 3								
K3	COD	1500	EE	0%	3,321 L	0,679 L	0 L	4 L
A3	COD	1500	EE	2%	3,306 L	0,694 L	0,08 L	4,08 L
B3	COD	1500	EE	5%	3,283 L	0,717 L	0,2 L	4,2 L
C3	COD	1500	EE	10%	3,244 L	0,756 L	0,4 L	4,4 L

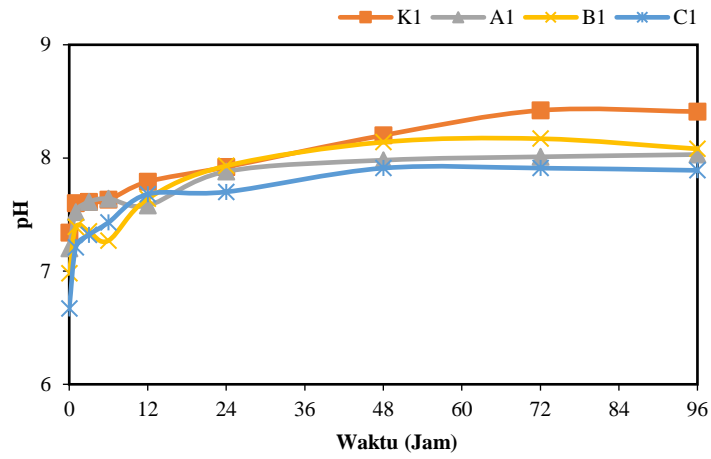
4.2 Pengaruh Penambahan EE pada Pengolahan Air Limbah RPA

Dalam pengolahan air limbah dengan penambahan EE, perlu dilakukan penelitian mengenai besar konsentrasi EE yang ditambahkan, agar didapatkan penyisihan bahan organik yang optimal.

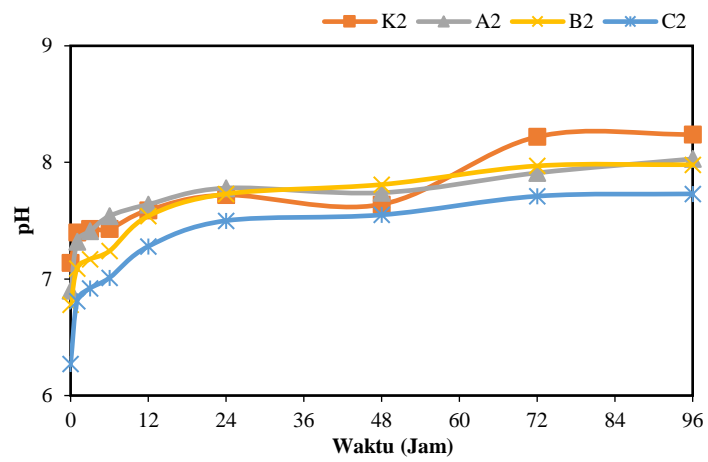
4.2.1 Analisis pH dan Suhu

Dilakukan analisis derajat keasaman (pH) dan suhu. Kedua hal tersebut termasuk kedalam faktor penting dalam pertumbuhan mikroorganisme (Kaiser, 2016). Hasil pengukuran pH dan suhu pada setiap variasi ditampilkan pada **Gambar 4.6** dan **Gambar 4.7**. Dari **Gambar 4.6**, menunjukkan nilai pH yang paling rendah dimiliki oleh variasi EE 10% (C), kemudian dilanjut dengan variasi EE 5% (B), variasi EE 2% (A), dan kontrol. Semakin tinggi konsentrasi EE, maka semakin asam pH, yang dapat mengganggu pertumbuhan mikroorganisme. Dalam proses aerobik, kondisi pH berkisar pada 7-8 merupakan kondisi optimum agar proses nitrifikasi berjalan dengan baik (Anisa & Herumurti, 2017). Kenaikan pH pada **Gambar 4.6**, dapat terjadi karena amonium-nitrogen berubah bentuk menjadi ion ammonium yang mudah larut, sehingga nilai pH akan meningkat akibat adanya ion OH⁻.

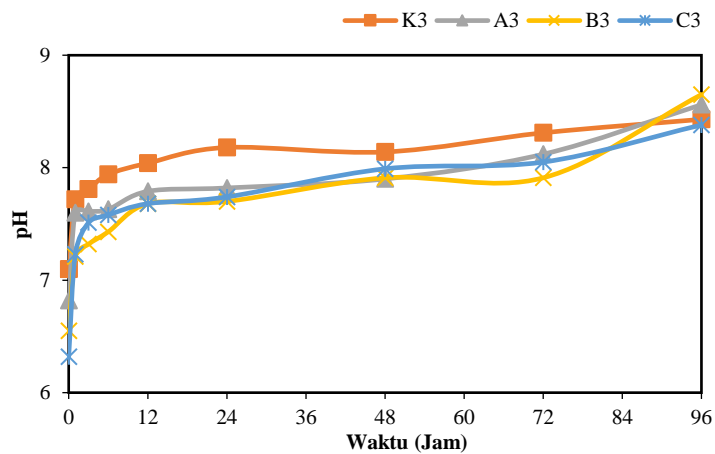
Pada **Gambar 4.7**, suhu dalam reaktor mengalami fluktuasi. Penurunan suhu akan berpengaruh pada aktivitas mikroorganisme yang menurun (Apema dkk., 2023). Nilai suhu pada setiap reaktor berada pada kisaran 25-35°C, yang merupakan suhu optimum suatu mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik (Fisma & Bhernama, 2020).



(a)

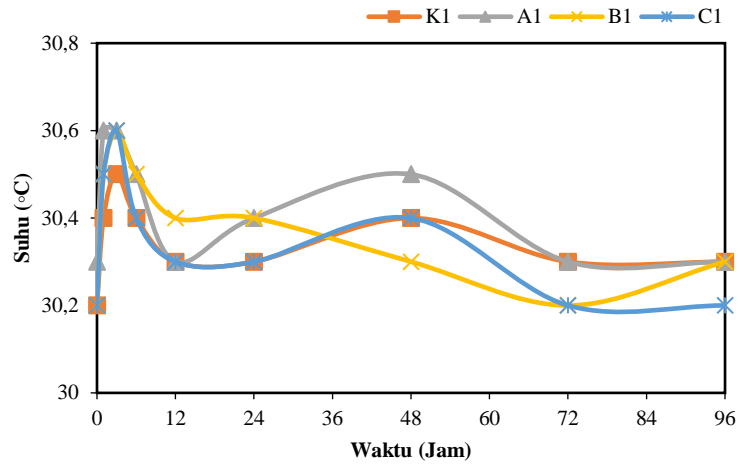


(b)

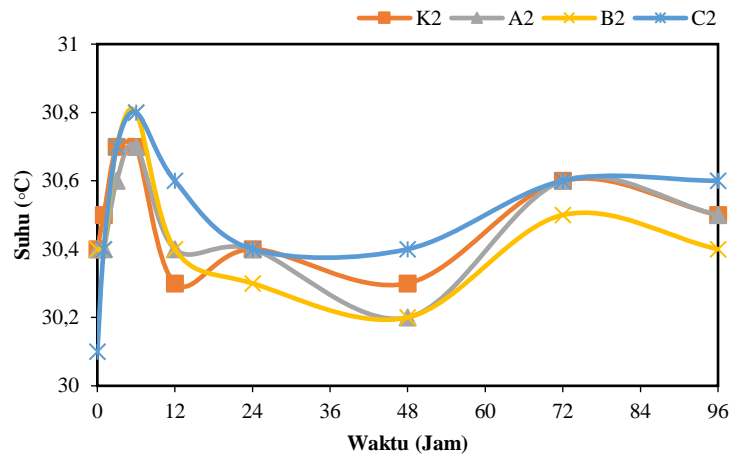


(c)

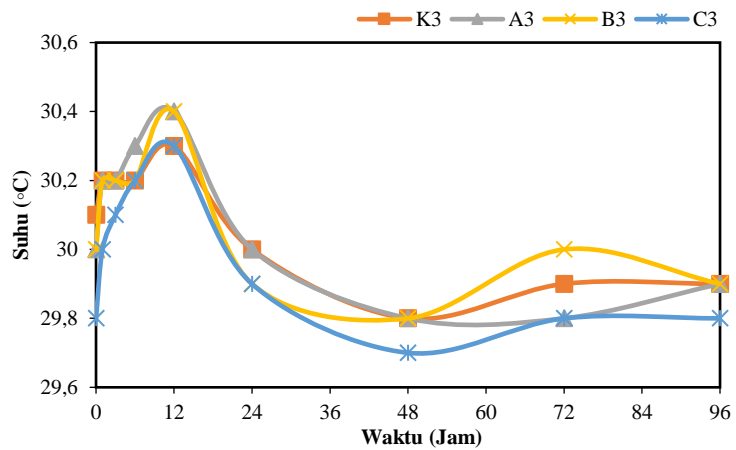
Gambar 4.6 pH pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L



(a)



(b)

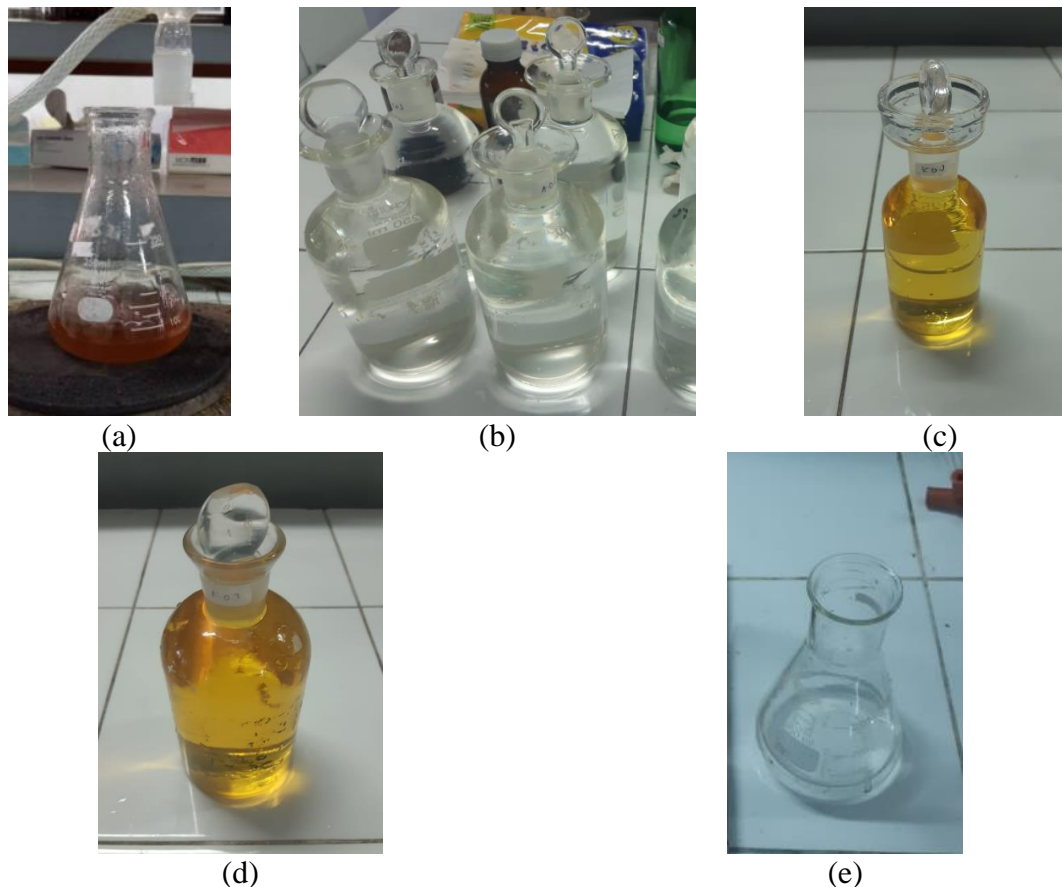


(c)

Gambar 4.7 Suhu pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L

4.2.2 Analisis Konsentrasi BOD

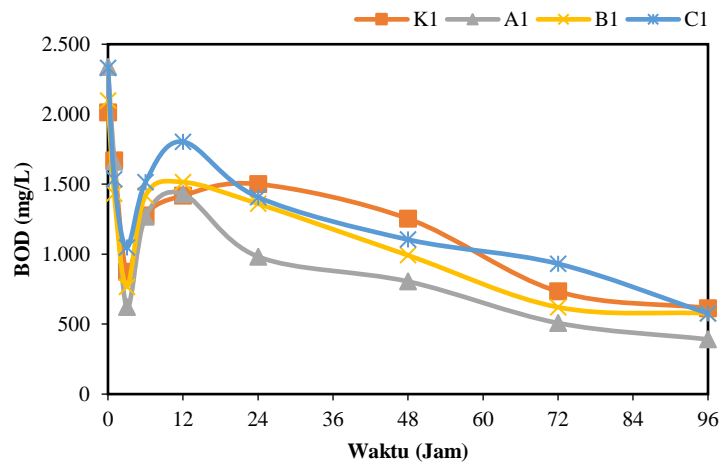
Pengolahan limbah cair RPA dengan menggunakan lumpur aktif dan penambahan EE dapat mendegradasi beban pencemar organiknya. BOD (*Biological Oxygen Demand*) merupakan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik pada air limbah secara biologi (Fadzry dkk., 2020). Sampel dari reaktor dilakukan analisis BOD dengan metode titrasi winkler. Analisis dilakukan dengan mengukur kandungan oksigen terlarut dengan titrasi pada hari ke-0 dan ke-5 yang kemudian didapatkan selisihnya sebagai nilai BOD (Ilham dkk., 2023). Dokumentasi pengujian konsentrasi BOD ditampilkan pada **Gambar 4.8**.



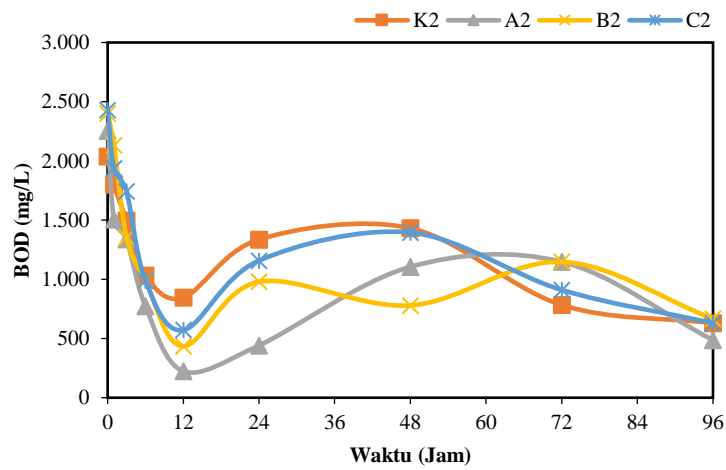
Gambar 4.8 Pengujian Konsentrasi BOD (a) Proses Analisis Nilai Permanganat, (b) Sampel dan Blanko pada Botol Winkler, (c) Analisis DO Hari ke-0, (d) Analisis DO Hari ke-5, dan (e) Hasil Titrasi Berwarna Bening

Data hasil pengujian konsentrasi BOD dapat ditinjau pada **Gambar 4.9** dan **Gambar 4.10**. Dari **Gambar 4.9** dan **Gambar 4.10**, membuktikan bahwa terjadi penyisihan BOD tertinggi secara berturut-turut untuk variasi COD 500, 1000, dan 1500 mg/L adalah pada jam ke-3, 12, dan 24. Pada jam ke-0 hingga waktu dengan penyisihan BOD tertinggi untuk masing-masing variasi COD, memiliki nilai DO yang meningkat seiring dengan lama waktu aerasi. Nilai DO yang meningkat menunjukkan banyak oksigen yang tersedia, sehingga BOD dapat didegradasi lebih mudah.

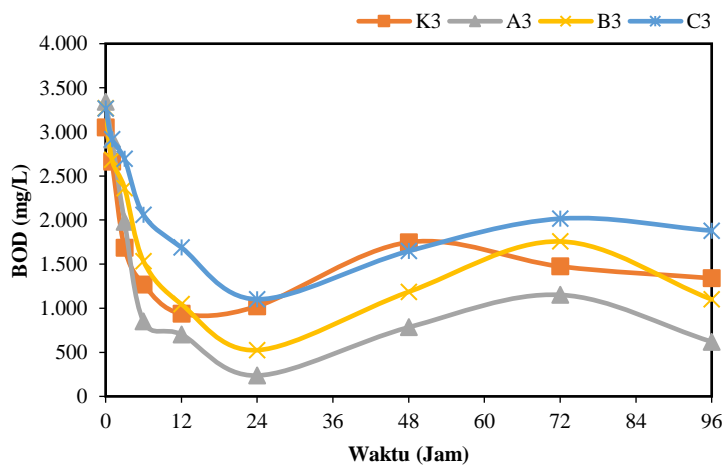
Setelah itu dari **Gambar 4.10** menunjukkan penurunan efisiensi penyisihan BOD atau nilai BOD pada setiap variasi mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena air limbah yang diolah memiliki bahan organik yang rendah, sehingga mikroorganisme pada reaktor akan mengalami fase kematian, karena kekurangan makanan. Sel mikroorganisme yang mati akan terdeteksi sebagai zat organik, sehingga nilai BOD akan naik (Kasih & Hendrasarie, 2023).



(a)

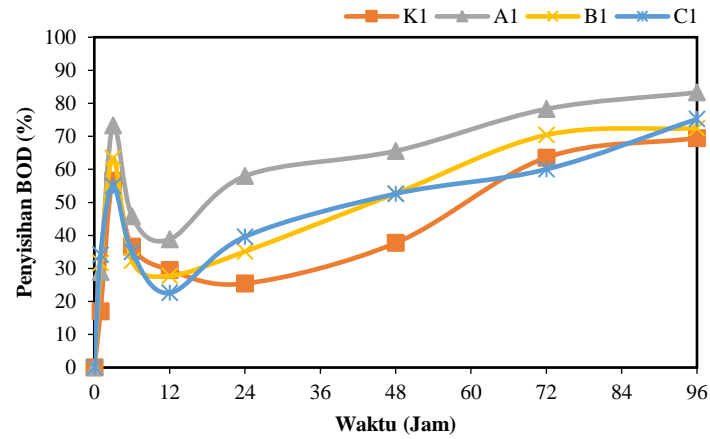


(b)

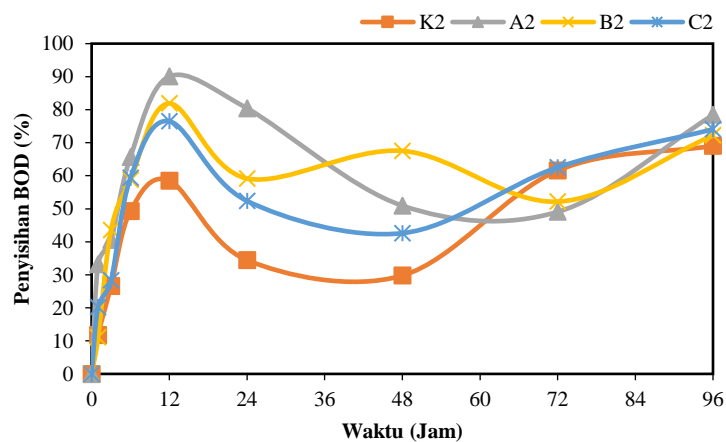


(c)

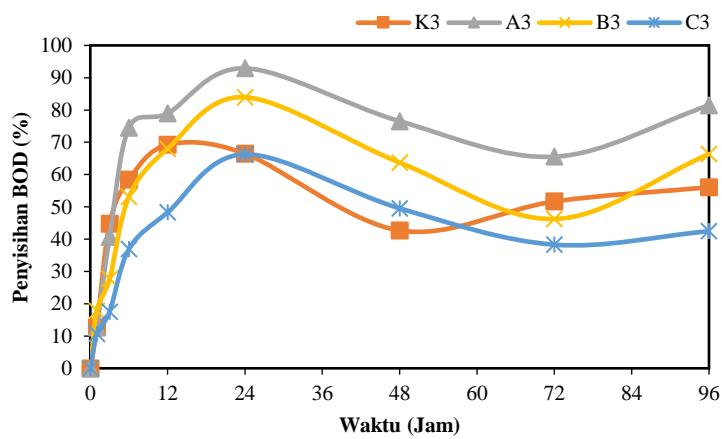
Gambar 4.9 Konsentrasi BOD pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.10 Penyisihan Konsentrasi BOD pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L

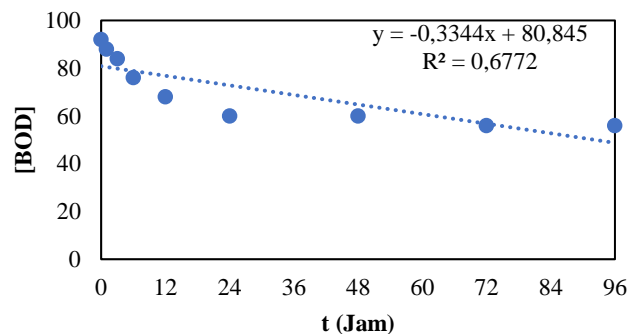
Hasil yang ditampilkan oleh **Gambar 4.9** dan **Gambar 4.10**, menunjukkan konsentrasi BOD yang fluktuatif, sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai koefisien degradasinya (k). Untuk mendapatkan nilai k pertama-tama ditentukan orde dari reaksi yang berlangsung pada pengolahan ini. Penentuan orde dilakukan dengan memplotkan data pada

persamaan reaksi orde 0, 1, dan 2 sesuai dengan persamaan (2.5), (2.6), dan (2.7). Dimana untuk orde 0 menghitung nilai BOD, orde 1 menghitung nilai ln BOD, dan orde 2 menghitung nilai 1/BOD. Hasil plot data pada persamaan reaksi orde untuk variasi K1 dapat ditinjau pada **Tabel 4.6**.

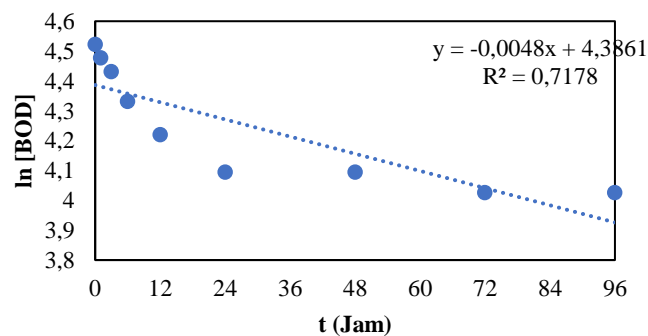
Tabel 4.6 Hasil Plot Data pada Persamaan Reaksi Orde

K1			
Waktu	[BOD]	ln [BOD]	1/[BOD]
0	2.013	7,60713301	0,00049689
1	1.670	7,42077948	0,00059868
3	874	6,77265695	0,00114465
6	1.277	7,15234716	0,00078302
12	1.419	7,25746452	0,00070489
24	1.501	7,31386018	0,00066624
48	1.254	7,13388437	0,00079762
72	734	6,59801674	0,00136307
96	614	6,42040812	0,00162799

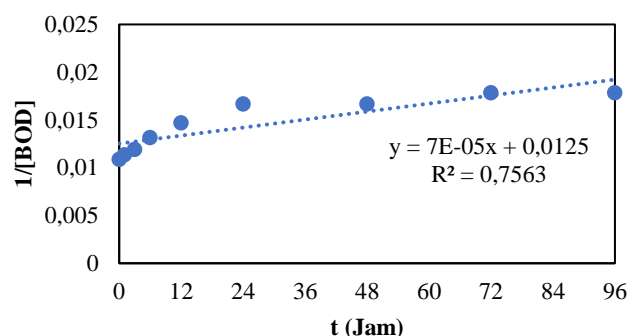
Setelah didapatkan data di atas kemudian diplot [BOD] terhadap waktu, ln [BOD] terhadap waktu, dan 1/[BOD] terhadap waktu. Grafik tersebut ditampilkan pada **Gambar 4.11-Gambar 4.13**. Dari grafik-grafik tersebut kemudian, dipilih grafik yang memiliki nilai R^2 yang mendekati 1. Variasi K1 memiliki persamaan pada orde 2 dengan $1/[BOD]_t = 9 \times 10^{-6} \cdot t + 0,0006$. Maka didapatkan nilai k adalah 9×10^{-6} . Dengan langkah yang sama, dilakukan perhitungan nilai k untuk setiap variasi. Hasil perhitungan tersebut ditampilkan pada **Tabel 4.7**.



Gambar 4.11 Plot [BOD] terhadap Waktu



Gambar 4.12 Plot ln [BOD] terhadap Waktu



Gambar 4.13 Plot 1/[BOD] terhadap Waktu

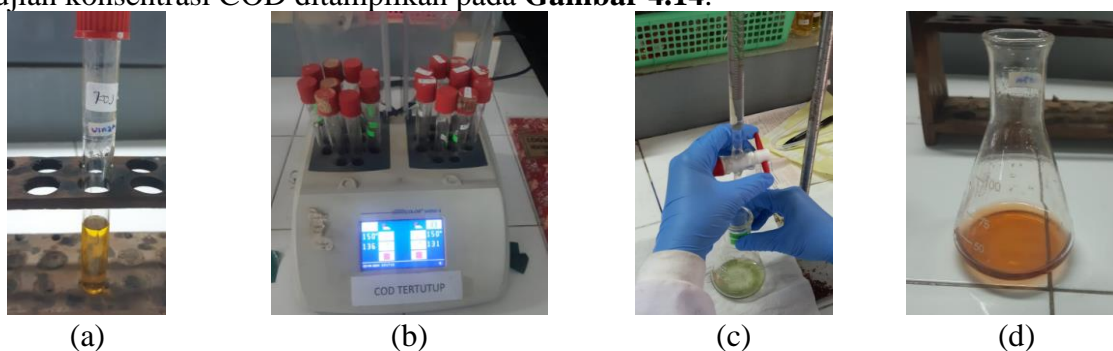
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Nilai k Degradasi BOD

	BOD					
	1 (500 mg/L)		2 (1000 mg/L)		3 (1500 mg/L)	
	Orde	k	Orde	k	Orde	k
K	2	0,0000009	2	0,0000009	2	0,000001
A	2	0,000002	2	0,000008	2	0,000009
B	2	0,000001	2	0,000006	2	0,000008
C	2	0,0000001	2	0,000007	2	0,000008

Dari **Tabel 4.7**, didapatkan bahwa nilai k untuk degradasi BOD yang paling besar dimiliki oleh variasi A dengan 0,000009, kemudian B, C, dan K. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan EE terbukti dapat menyisihkan BOD lebih banyak daripada variasi tanpa penambahan EE.

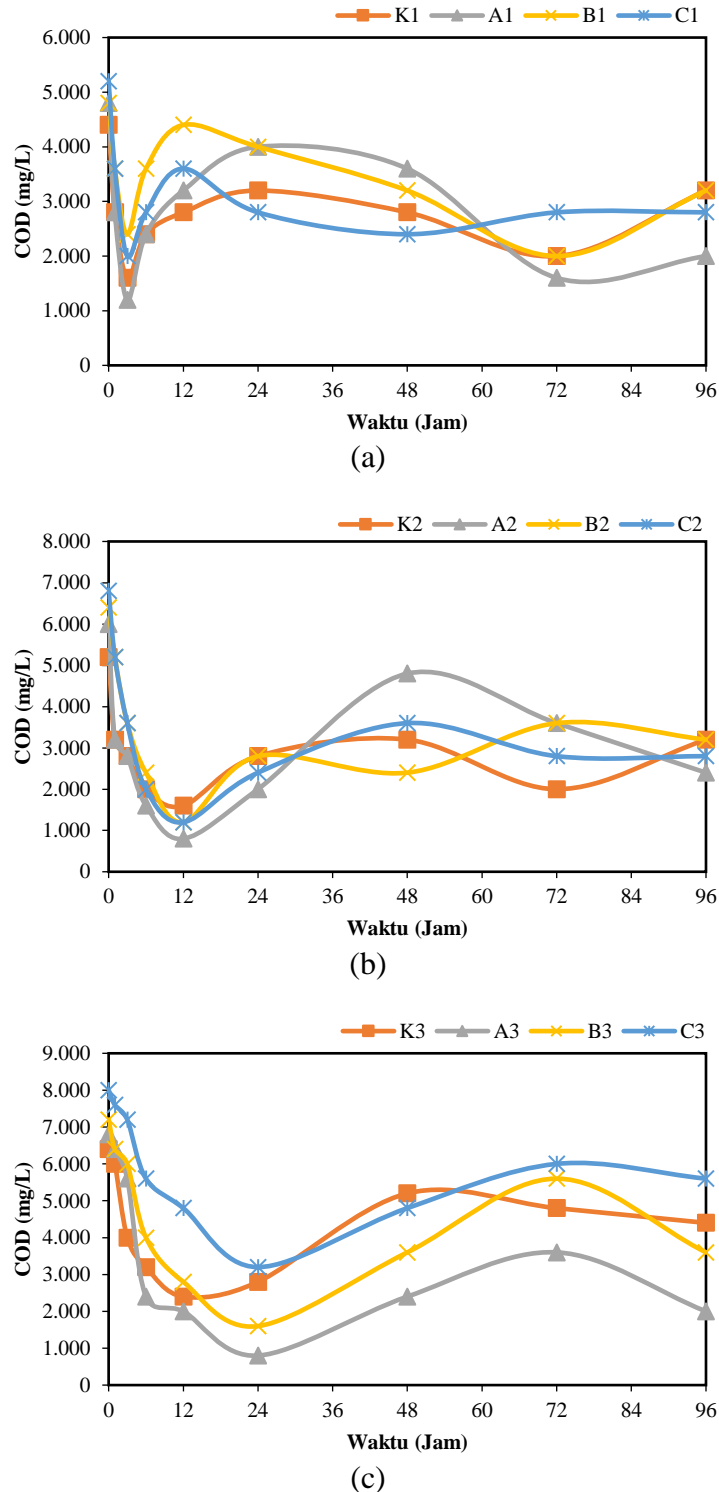
4.2.3 Analisis Konsentrasi COD

Selain BOD, beban pencemar organik yang dianalisis pada pengolahan ini adalah COD. COD (*Chemical Oxygen Demand*) menyatakan banyak oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik *biodegradable* dan *non biodegradable* pada air limbah secara kimiawi (Fadzry dkk., 2020). Sampel dari reaktor kemudian diambil supernatannya dan dilakukan pengenceran hingga 50 kali agar nilai COD dapat diukur. Analisis COD dilakukan dengan penambahan $K_2Cr_2O_7$ dan Hg_2SO_4 sebagai pengoksidasi. Kemudian penambahan larutan Ag_2SO_4 sebagai katalisator karena menghasilkan suasana asam yang mendukung jalannya reaksi oksidasi $K_2Cr_2O_7$ dan Hg_2SO_4 (Afiifah, 2020). Dokumentasi pengujian konsentrasi COD ditampilkan pada **Gambar 4.14**.

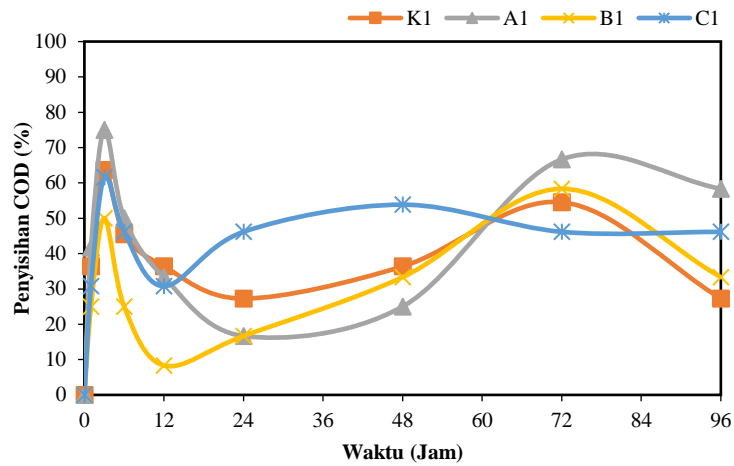


Gambar 4.14 Pengujian Konsentrasi COD (a) Proses Pencampuran Reagen, (b) Proses Pemanasan dengan *Heating Block*, (c) Proses Titrasi, dan (d) Hasil Titrasi Sampel

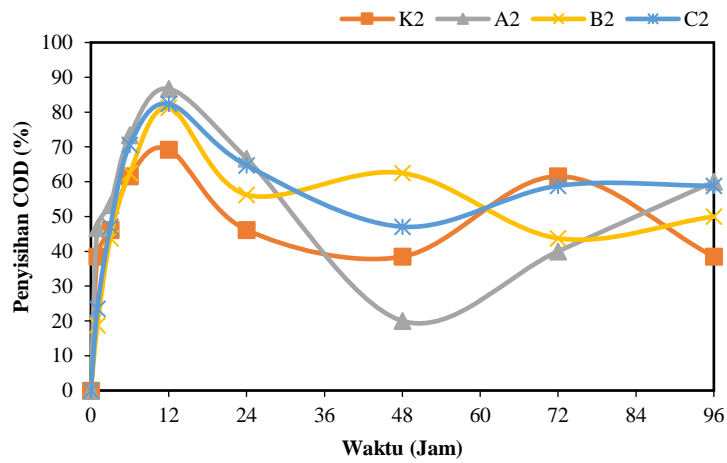
Data hasil pengujian konsentrasi COD menunjukkan penurunan yang berbeda berdasarkan variasi konsentrasi COD dan penambahan EE. Hasil analisis konsentrasi dan penyisihan COD dapat ditinjau pada **Gambar 4.15** dan **Gambar 4.16**. Pada **Gambar 4.15**, konsentrasi COD awal pengolahan mengalami kenaikan yang kemudian mengalami penurunan pada jam ke-3 untuk variasi COD 500 mg/L, jam ke-12 untuk variasi COD 1000 mg/L, dan jam ke-24 untuk variasi COD 1500 mg/L.



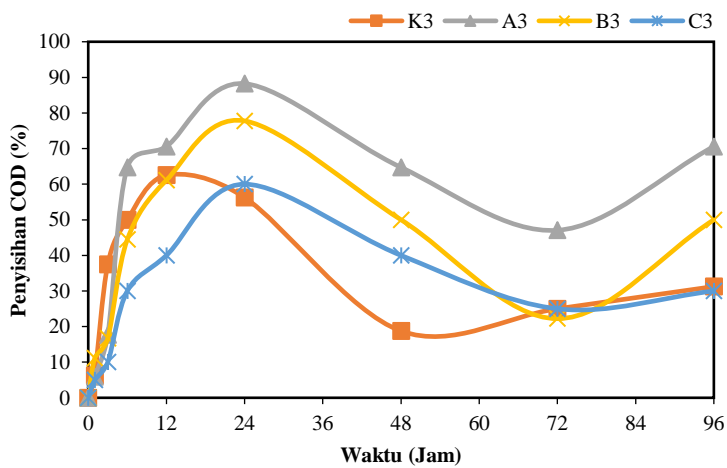
Gambar 4.15 Konsentrasi COD pada Variasi Konsentrasi COD (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.16 Penyisihan Konsentrasi COD pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L

Pada **Gambar 4.15** dan **Gambar 4.16**, menunjukan konsentrasi COD yang fluktuatif, sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai koefisien degradasinya (k).

Untuk mendapatkan nilai k degradasi COD dilakukan perhitungan yang sama dengan perhitungan k degradasi BOD. Hasil perhitungan k degradasi COD ditampilkan pada **Tabel 4.8**.

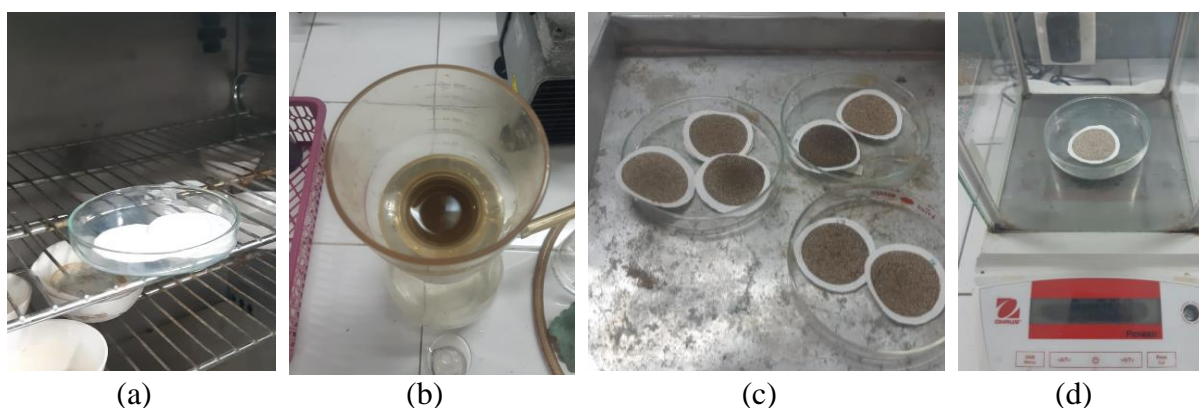
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Nilai k Degradasi COD

	COD					
	1 (500 mg/L)		2 (1000 mg/L)		3 (1500 mg/L)	
	Orde	k	Orde	k	Orde	k
K	2	0,0000006	2	0,000001	2	0,0000004
A	2	0,000001	2	0,000002	2	0,000003
B	2	0,0000008	2	0,000001	2	0,000002
C	2	0,000001	2	0,000001	2	0,000001

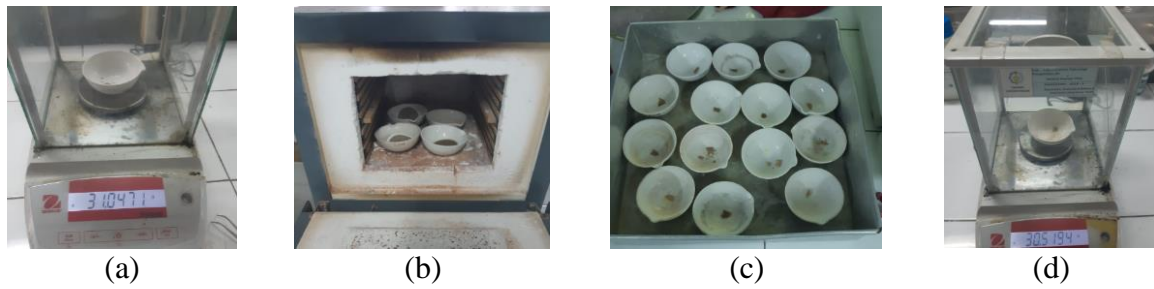
Dari **Tabel 4.8**, didapatkan bahwa nilai k untuk degradasi COD yang paling besar dimiliki oleh variasi A dengan 0,000003, kemudian B, C, dan K. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan EE terbukti dapat menyisihkan COD lebih banyak daripada variasi tanpa penambahan EE. Hal ini dapat terjadi karena terdapat *enzyme* protease yang akan menjadi booster bagi mikroorganisme dalam menghidrolisis ikatan peptida. Hasil dari proses hidrolisis ini adalah asam amino. Protein sendiri merupakan bahan organik yang juga merupakan komponen BOD dan COD (Wikaningrum & Anggraini, 2022).

4.2.4 Analisis Konsentrasi MLSS dan MLVSS

Pengujian MLSS dan MLVSS bertujuan untuk mendapatkan data perkembangan mikroorganisme pada reaktor. MLSS (*Mixed Liqour Suspended Solids*) adalah jumlah total zat tersuspensi meliputi material organik dan mineral. Sedangkan MLVSS (*Mixed Liqour Volatile Suspended Solids*) adalah perkiraan jumlah mikroorganisme yang terdapat pada sistem lumpur aktif (Mirbagheri dkk., 2015). Analisis MLSS dan MLVSS dilakukan secara gravimetri. Setelah didapatkan residu dari hasil *vacuum filter*, kemudian dioven untuk menghilangkan kandungan airnya. Sedangkan untuk MLVSS merupakan hasil MLSS yang kemudian di-*furnace* untuk mengisolasi fraksi anorganik (abu hasil *furnace*). Dokumentasi pengujian konsentrasi MLSS dapat dilihat pada **Gambar 4.17** dan MLVSS pada **Gambar 4.18**.



Gambar 4.17 Pengujian Konsentrasi MLSS (a) Proses Oven Kertas Saring, (b) Proses *Vacuum* Sampel, (c) Kertas Saring dan Residu, dan (d) Proses Penimbangan Kertas Saring dan Residu



Gambar 4.18 Pengujian Konsentrasi MLVSS (a) Proses Penimbangan Cawan Porselin, (b) Proses Pembakaran dengan *Furnace*, (c) Cawan Porselin dan Abu, dan (d) Proses Penimbangan Cawan dan Abu

Data hasil pengujian konsentrasi MLSS dan MLVSS untuk setiap variasi ditampilkan pada **Gambar 4.19** dan **Gambar 4.20**. Pada **Gambar 4.19** dan **Gambar 4.20**, menunjukkan bahwa terjadi kenaikan nilai MLSS dan MLVSS yang kemudian mengalami penurunan atau fluktuatif. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan koefisiensi pertumbuhan mikroorganisme. Dilakukan perhitungan μ (konstanta laju pertumbuhan spesifik) sesuai dengan persamaan (2.1). Hasil perhitungan $\ln X$, dengan X merupakan nilai MLVSS dapat ditinjau pada **Tabel 4.9**.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan $\ln X$ Variasi Konsentrasi COD 500 mg/L

Waktu	K	A	B	C
0	7,6	7,7	7,7	7,7
1	7,8	7,9	7,8	8,0
3	8,0	8,1	8,0	8,1

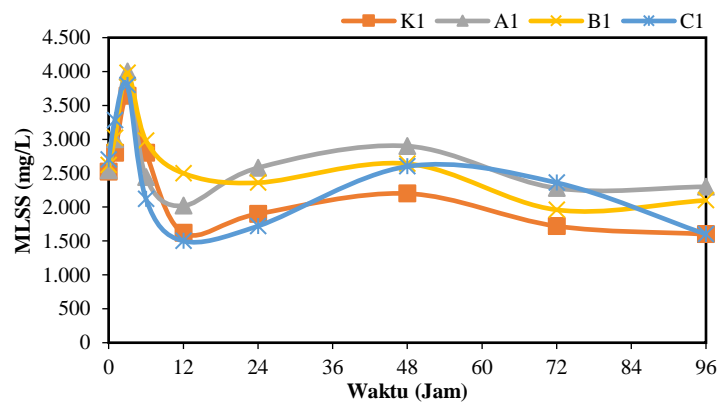
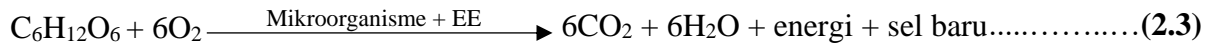
Pada **Tabel 4.9**, dilakukan perhitungan hanya pada fase log. Dari hasil tersebut diplot $\ln X$ terhadap waktu. Hasil plot diperlihatkan pada **Gambar 4.21**. Dari **Gambar 4.21** akan didapatkan nilai μ . Dengan cara yang sama, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai μ pada setiap variasi. Hasil perhitungan ditampilkan pada **Tabel 4.10**.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Konstanta Pertumbuhan Mikroorganisme

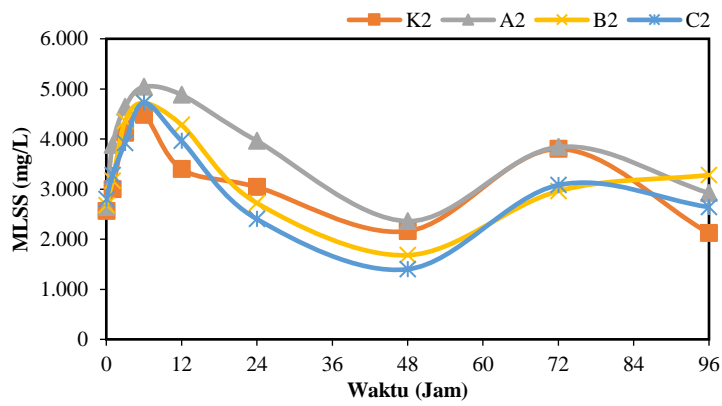
	MLVSS		
	1 (500 mg/L)	2 (1000 mg/L)	3 (1500 mg/L)
K	0,1301	0,1068	0,0959
A	0,1514	0,1012	0,0977
B	0,1209	0,0906	0,0760
C	0,1049	0,0747	0,0692

Dari **Tabel 4.10** menunjukkan bahwa nilai konstanta pertumbuhan mikroorganisme tertinggi dimiliki oleh variasi A yang kemudian diikuti variasi K, B, dan C. Ini membuktikan bahwa variasi penambahan EE dapat meningkatkan pertumbuhan mikroorganisme lebih banyak daripada variasi tanpa penambahan EE. Selain itu terdapat terdapat konsentrasi optimum dalam penambahan EE yakni sebesar 2%, selebihnya tidak akan mengoptimalkan penyisihan bahan organik dan pertumbuhan mikroorganisme.

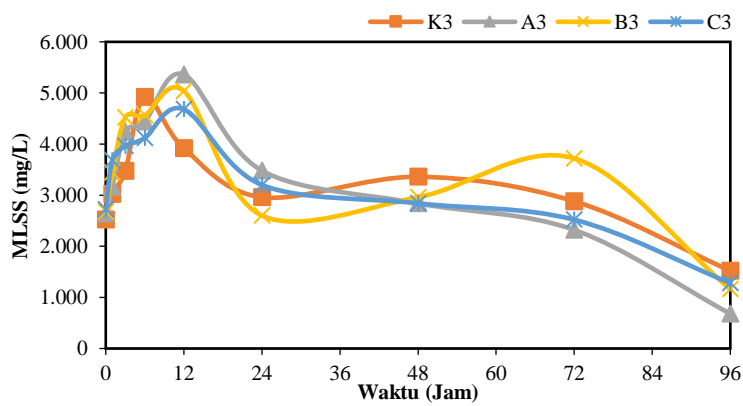
Dari peningkatan konsentrasi MLSS dan penyisihan BOD dan COD menunjukkan bahwa penambahan EE mempengaruhi pertumbuhan dan performa mikroorganisme dalam mendegradasi bahan organik. Hal ini membuktikan bahwa penambahan EE pada pengolahan ini berperan sebagai katalis. Penambahan EE dikatakan sebagai katalis, karena EE tidak mempengaruhi reaksi oksidasi, melainkan mempercepat laju reaksi. Reaksi oksidasi bahan organik dengan penambahan EE dapat dilihat pada (2.3).



(a)

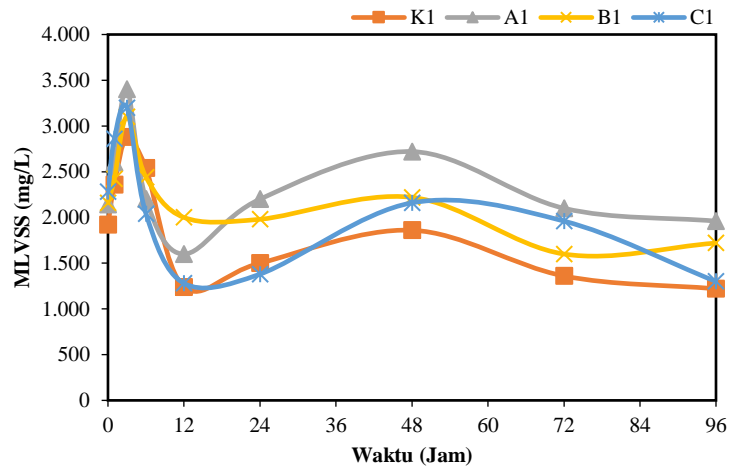


(b)

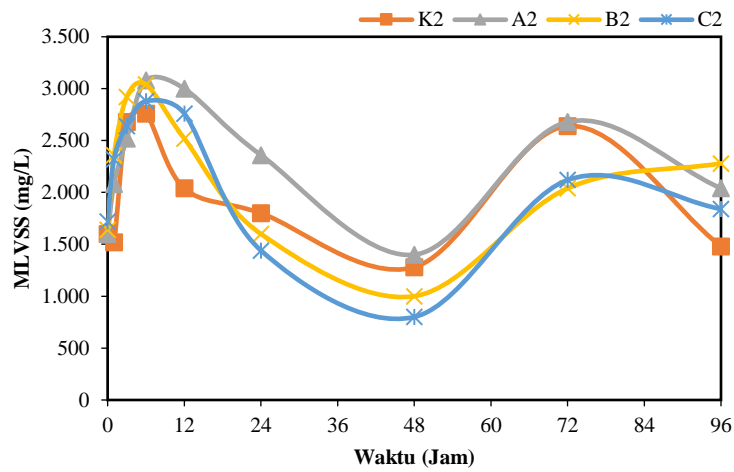


(c)

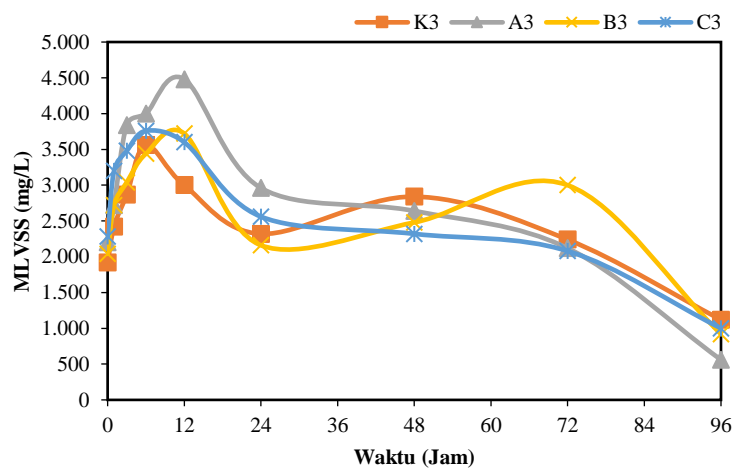
Gambar 4.19 Konsentrasi MLSS pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L



(a)

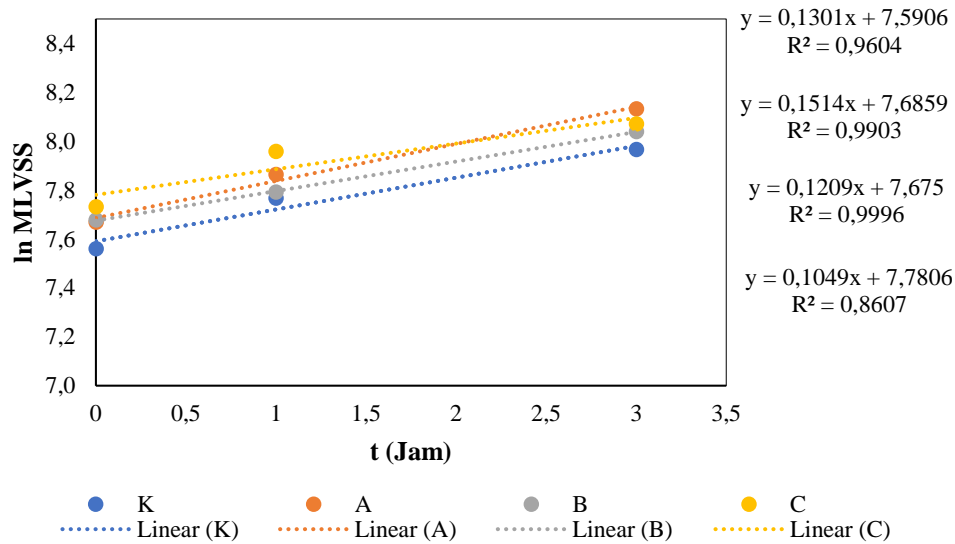


(b)



(c)

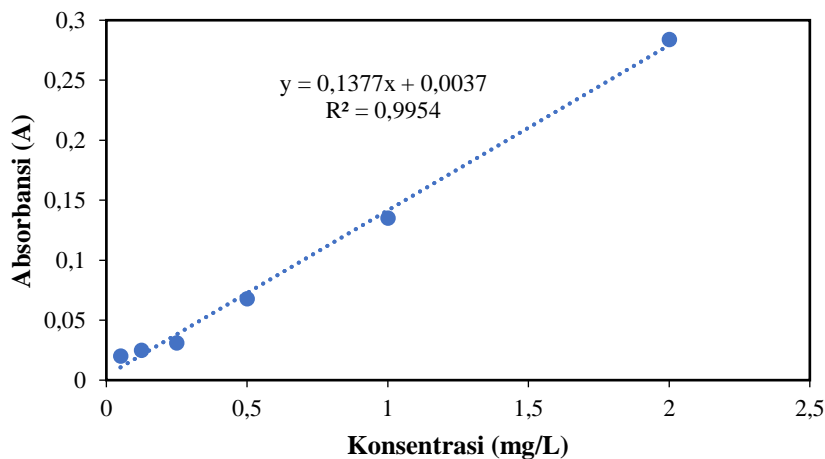
Gambar 4.20 Konsentrasi MLVSS pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L



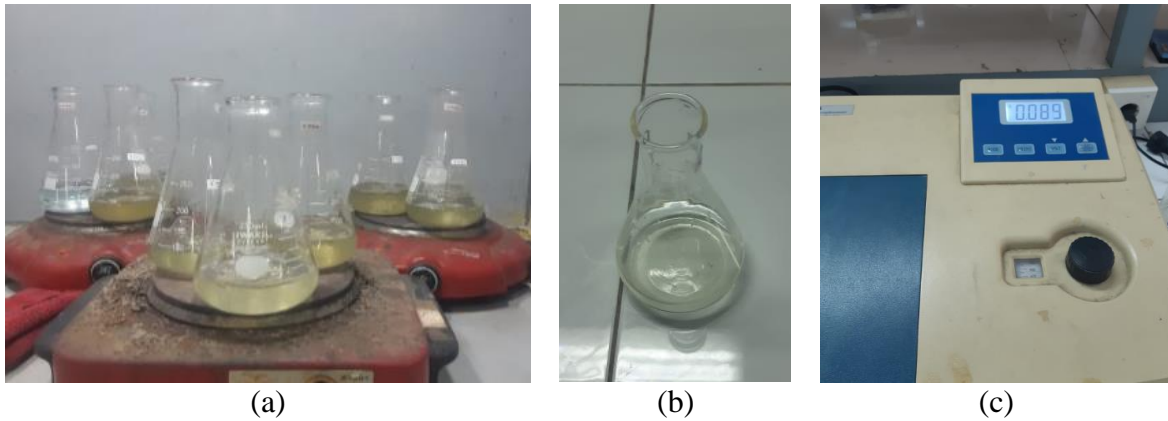
Gambar 4.21 Grafik ln MLVSS terhadap Waktu

4.2.5 Analisis Konsentrasi NH₃-N

Ammonia Nitrogen (NH₃-N) atau ammonia total merupakan pengujian yang meliputi ammonia dan ammonium. Analisis ammonia total dilakukan dengan metode spektrofotometer secara fenat. Analisis dilakukan dengan pengenceran 50 kali hingga sampel menjadi 100 mL. Proses destruksi dilakukan dengan penambahan katalisator berupa *digest solution* TKN (Larutan K₂SO₄, CuSO₄, dan H₂SO₄) dan dipanaskan, sehingga membentuk senyawa ammonium sulfat. Kemudian dari hasil destruksi dilakukan analisis ammonium (Wiyantoko dkk., 2017). Penambahan larutan nessler akan bereaksi dengan amonia, sedangkan penambahan garam signet untuk menghilangkan gangguan seperti kekeruhan. Kurva kalibrasi dapat digunakan apabila nilai regresi minimal 0,995. Berikut merupakan kurva kalibrasi yang digunakan pada analisis ammonium yang ditampilkan pada **Gambar 4.22**. Dokumentasi pengujian konsentrasi NH₃-N disajikan oleh **Gambar 4.23**.



Gambar 4.22 Kurva Kalibrasi Amonium



Gambar 4.23 Pengujian Konsentrasi NH₃-N (a) Proses Destruksi, (b) Proses Pencampuran Reagen, dan (c) Analisa dengan Spektrofotometer

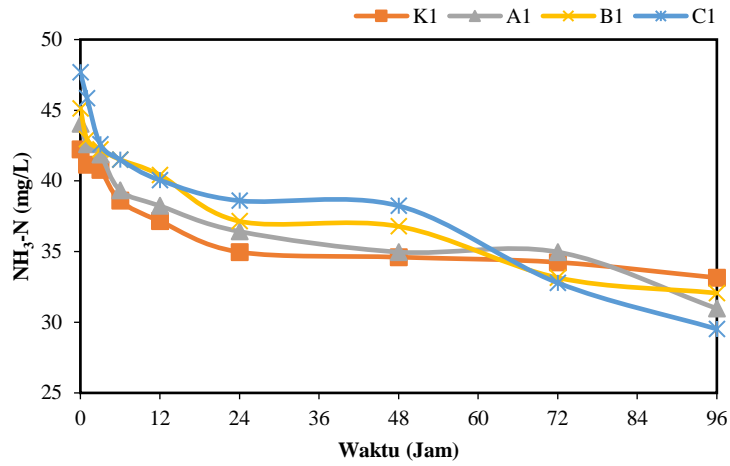
Data hasil pengujian konsentrasi ammonia nitrogen disajikan pada **Gambar 4.24** dan **Gambar 4.25**. Dari **Gambar 4.24**, hampir pada semua variasi terjadi penurunan konsentrasi ammonia-nitrogen tertinggi pada jam ke-96. Persentase penyisihan konsentrasi ammonia-nitrogen tertinggi dimiliki oleh variasi EE 10% (C), yakni sebesar 54,3%, kemudian diikuti oleh variasi B dengan 42,2%, A dengan 32,6%, dan kontrol dengan 24,9%. Hal ini menunjukkan bahwa variasi penambahan EE terbukti dapat menyisihkan NH₃-N lebih banyak daripada variasi tanpa penambahan EE. Dari efisiensi penyisihan tersebut menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan EE, efisiensi penyisihan NH₃-N juga semakin meningkat yang sesuai dengan Wikaningrum & El Dabo, (2022), namun nilai efisiensi ini relatif lebih kecil.

Pada parameter ini juga dilakukan perhitungan k degradasi NH₃-N. Untuk mendapatkan nilai k degradasi NH₃-N dilakukan perhitungan yang sama dengan perhitungan k degradasi BOD. Hasil perhitungan k degradasi NH₃-N disajikan pada **Tabel 4.11**.

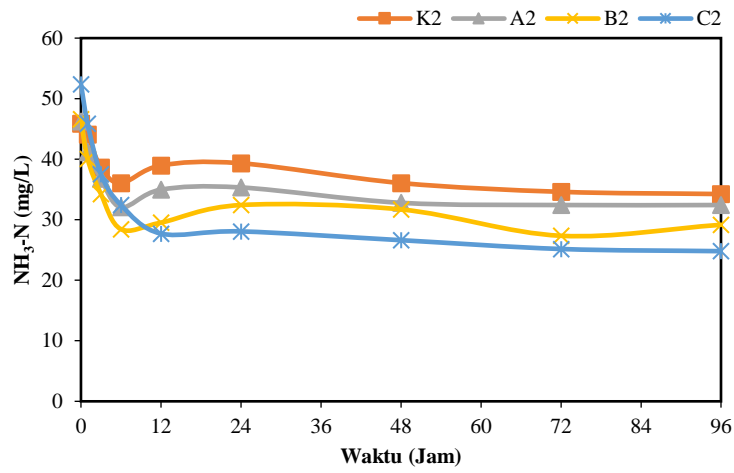
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Nilai k Degradasi NH₃-N

		NH ₃ -N					
		1 (500 mg/L)		2 (1000 mg/L)		3 (1500 mg/L)	
	Orde	k	Orde	k	Orde	k	
K	1	0,0022	1	0,0022	1	0,0021	
A	1	0,003	1	0,0022	1	0,0025	
B	1	0,0033	1	0,0029	1	0,0035	
C	1	0,0042	1	0,0058	1	0,0070	

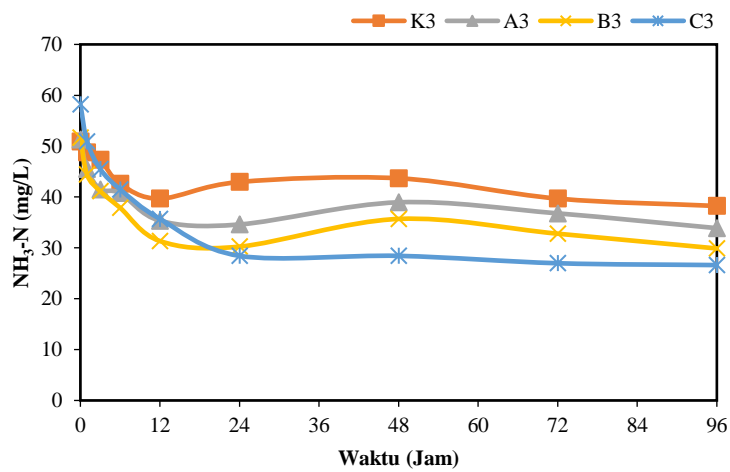
Dari **Tabel 4.11**, didapatkan bahwa nilai k untuk degradasi NH₃-N yang paling besar dimiliki oleh variasi C dengan 0,007 kemudian B, A, dan K. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan EE terbukti dapat menyisihkan NH₃-N lebih banyak daripada variasi tanpa penambahan EE.



(a)

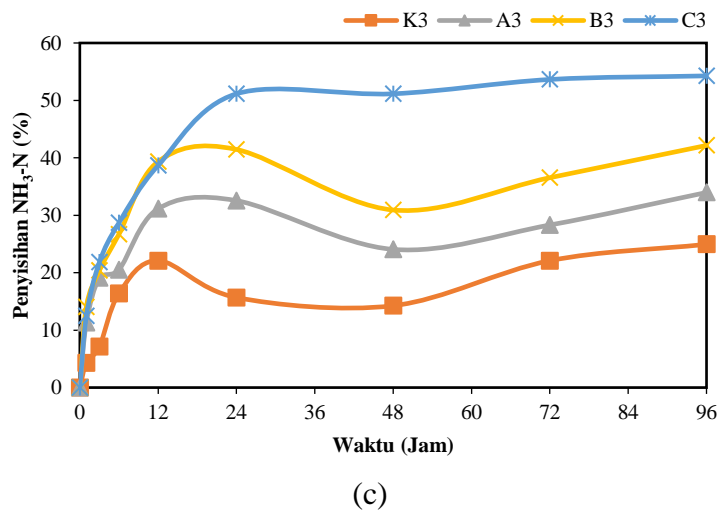
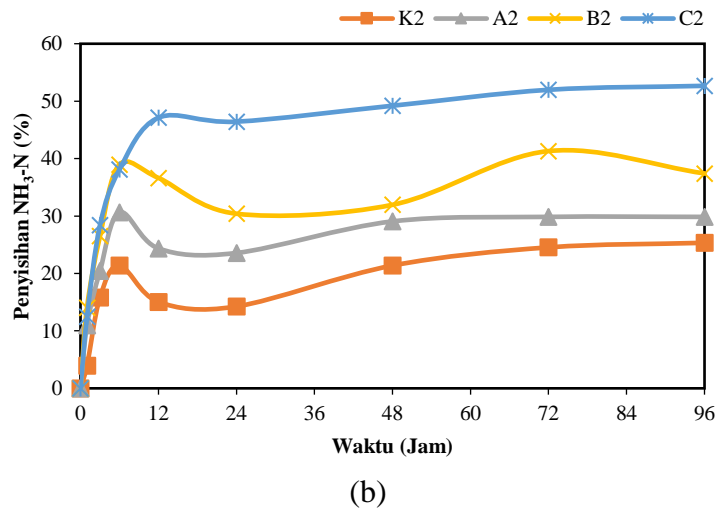
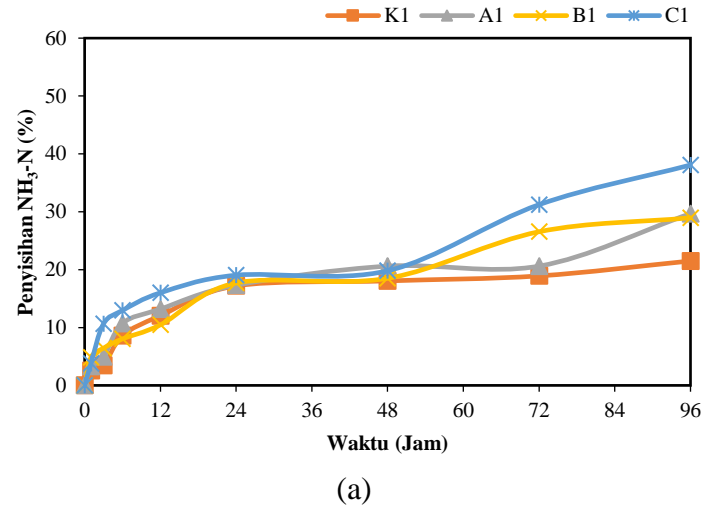


(b)



(c)

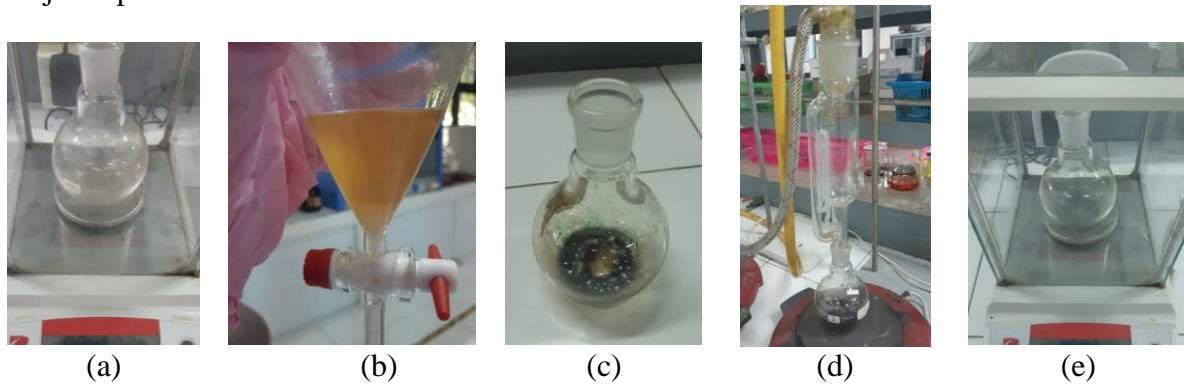
Gambar 4.24 Konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L



Gambar 4.25 Penyisihan Konsentrasi NH₃-N pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L

4.2.6 Analisis Konsentrasi Minyak dan Lemak

Analisis parameter ini dilakukan secara gravimetri. Analisis dimulai dengan penambahan HCl untuk menghilangkan pengganggu pada sampel. Kemudian penambahan kloroform berfungsi untuk mengikat minyak dan lemak sehingga terpisah dari sampel. Kemudian, dilakukan proses destilasi untuk memisahkan kloroform dengan minyak dan lemak. Minyak yang telah dipisahkan kemudian ditimbang. Dokumentasi analisis minyak dan lemak disajikan pada **Gambar 4.26**.



Gambar 4.26 Pengujian Konsentrasi Minyak dan Lemak (a) Proses Penimbangan Labu Destilasi, (b) Proses Pemisahan Minyak dan Lemak dari Sampel, (c) Minyak dan Lemak yang larut dengan Kloroform, (d) Proses Destilasi, dan (e) Proses Penimbangan Labu dan Minyak

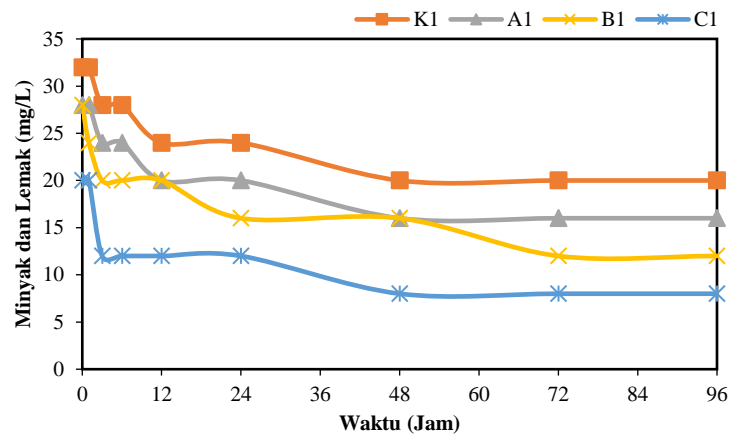
Data hasil pengujian konsentrasi minyak dan lemak disajikan pada **Gambar 4.27** dan **Gambar 4.28**. **Gambar 4.27** menyatakan bahwa konsentrasi minyak dan lemak mengalami penurunan tertinggi terjadi pada jam ke-96. Nilai efisiensi penyisihan konsentrasi minyak dan lemak tertinggi dimiliki oleh variasi EE 10% (C), yakni sebesar 64,7%, kemudian diikuti oleh variasi B dengan 55%, A dengan 50%, dan kontrol dengan 39,1%. Hal ini menunjukkan bahwa variasi penambahan EE terbukti dapat menyisahkan minyak dan lemak lebih banyak daripada variasi tanpa penambahan EE. Penyisihan minyak dan lemak terjadi karena kandungan *enzyme* lipase menjadi *booster* bagi mikroorganisme dalam reaksi hidrolisis ester menjadi asam lemak (Wikaningrum & Pratamadina, 2022). Dari efisiensi penyisihan tersebut menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan EE, efisiensi penyisihan minyak dan lemak juga semakin meningkat yang sesuai dengan Kasih & Hendrasarie (2023) dan mendukung penelitian Wikaningrum & Pratamadina (2022) dengan hasil yang lebih baik.

Pada parameter ini juga dilakukan perhitungan k degradasi minyak dan lemak. Untuk mendapatkan nilai k degradasi minyak dan lemak dilakukan perhitungan yang sama dengan perhitungan k degradasi BOD. Hasil perhitungan k degradasi minyak dan lemak ditampilkan pada **Tabel 4.12**.

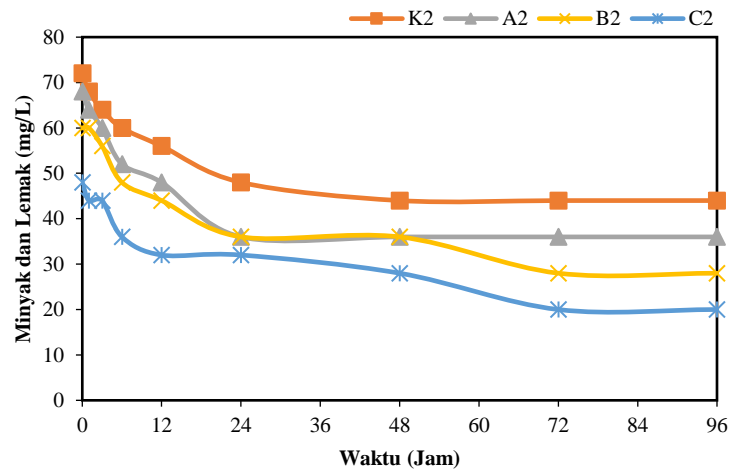
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Nilai k Degradasi Minyak dan Lemak

Minyak dan Lemak						
1 (500 mg/L)		2 (1000 mg/L)		3 (1500 mg/L)		
Orde	k	Orde	k	Orde	k	
K	1	0,0048	1	0,0049	1	0,0048
A	1	0,0058	1	0,0062	1	0,0064
B	1	0,0075	1	0,008	1	0,0076
C	1	0,0083	1	0,0087	1	0,0098

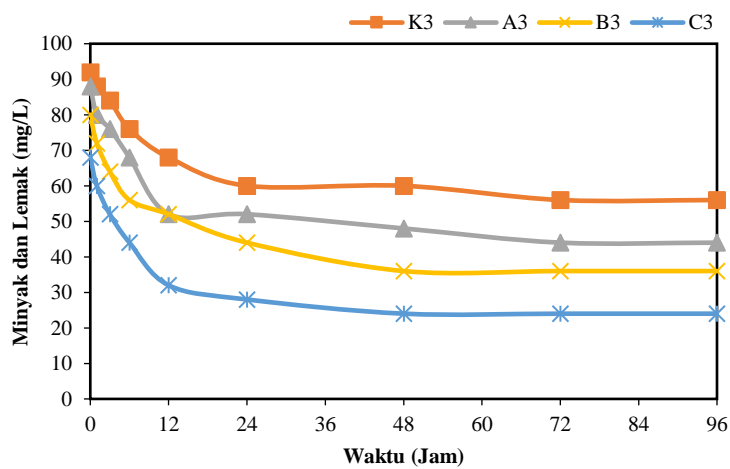
Dari **Tabel 4.12**, didapatkan bahwa nilai k untuk degradasi minyak dan lemak yang paling besar dimiliki oleh variasi C dengan 0,0098 kemudian B, A, dan K. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan EE terbukti dapat menyisihkan minyak dan lemak lebih banyak daripada variasi tanpa penambahan EE.



(a)

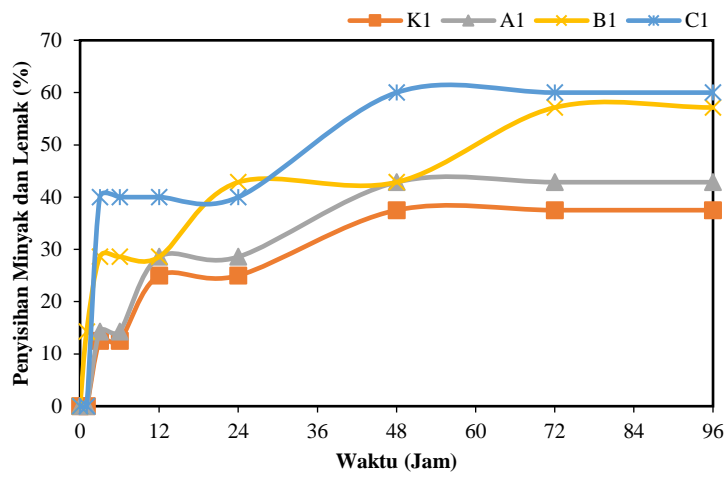


(b)

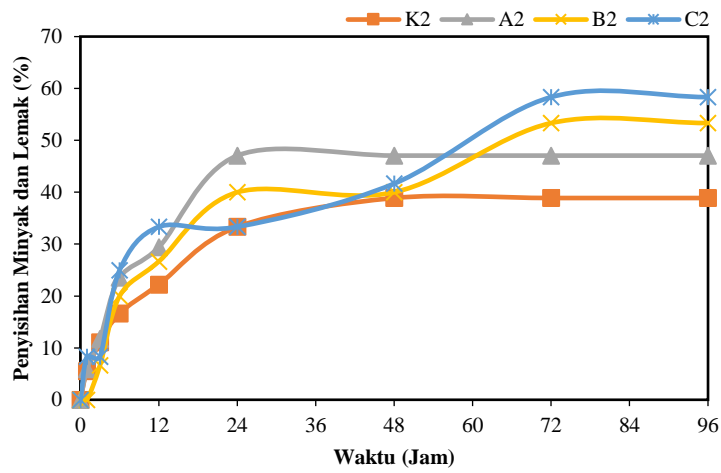


(c)

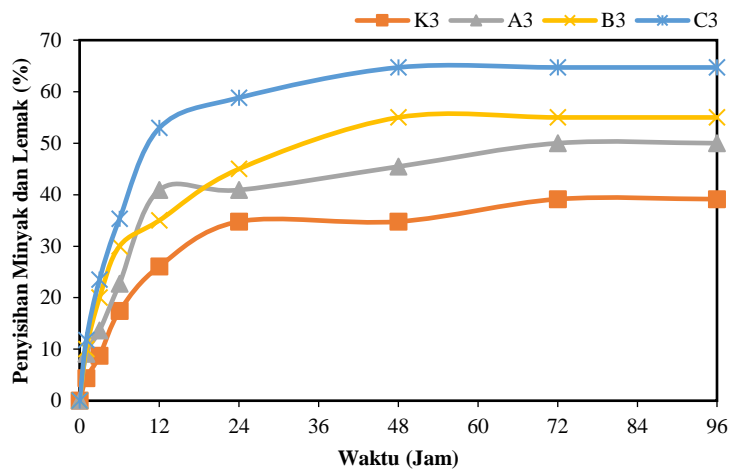
Gambar 4.27 Konsentrasi Minyak dan Lemak pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L



(a)



(b)



(c)

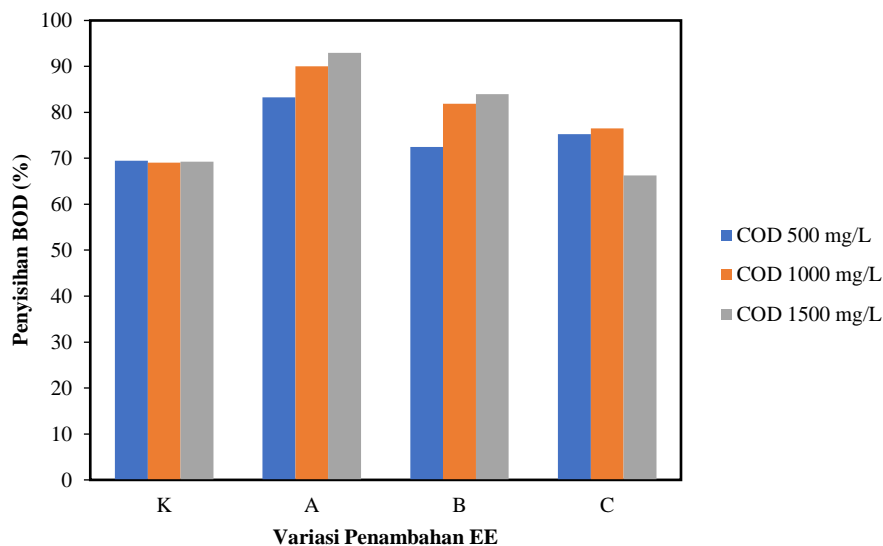
Gambar 4.28 Penyisihan Konsentrasi Minyak dan Lemak pada Variasi Konsentrasi COD Awal (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L

4.3 Pengaruh Konsentrasi Air Limbah RPA yang Diolah dengan Penambahan EE terhadap Penurunan Bahan Organik

Pengolahan air limbah bertujuan untuk mengurangi bahan pencemar agar tidak merusak lingkungan. Dalam pengolahan air limbah dengan penambahan EE, perlu dilakukan penelitian mengenai besar konsentrasi bahan pencemar pada air limbah, agar didapatkan penyisihan bahan pencemar yang optimal.

4.3.1 Analisis Penyisihan Konsentrasi BOD

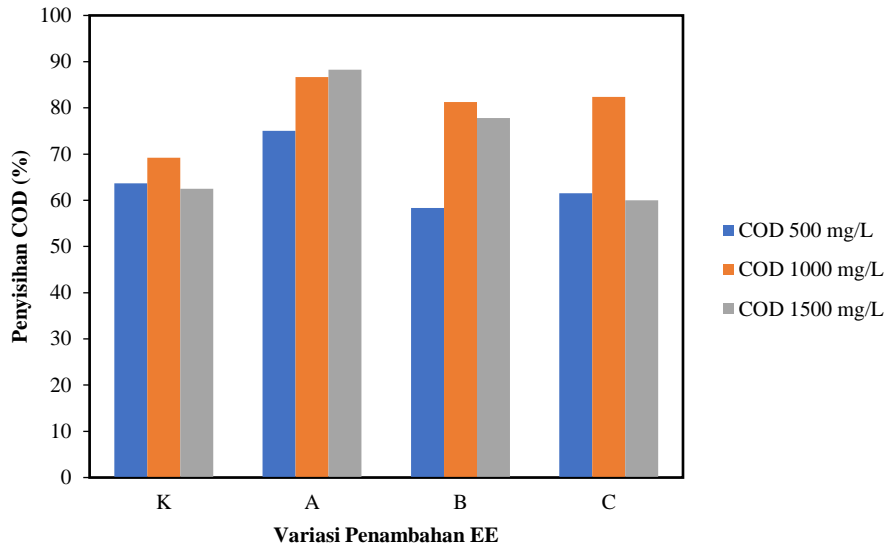
Konsentrasi BOD pada air limbah RPA berada pada rentang 236,45-725,3 mg/L setelah dilakukan pengenceran. Untuk perbandingan efisiensi penyisihan BOD tertinggi telah disajikan pada **Gambar 4.29**. Berdasarkan **Gambar 4.29**, terlihat bahwa penyisihan BOD tertinggi dimiliki oleh variasi konsentrasi COD 1500 mg/L dan 1000 mg/L, dengan persentase yang tidak terlalu jauh berbeda. Efisiensi penyisihan BOD tertinggi untuk konsentrasi COD 1500 mg/L sebesar 92,9%, konsentrasi COD 1000 mg/L sebesar 90,1%, dan konsentrasi COD 500 mg/L sebesar 83,3%.



Gambar 4.29 Perbandingan Penyisihan Konsentrasi BOD Variasi COD dan EE

4.3.2 Analisis Penyisihan Konsentrasi COD

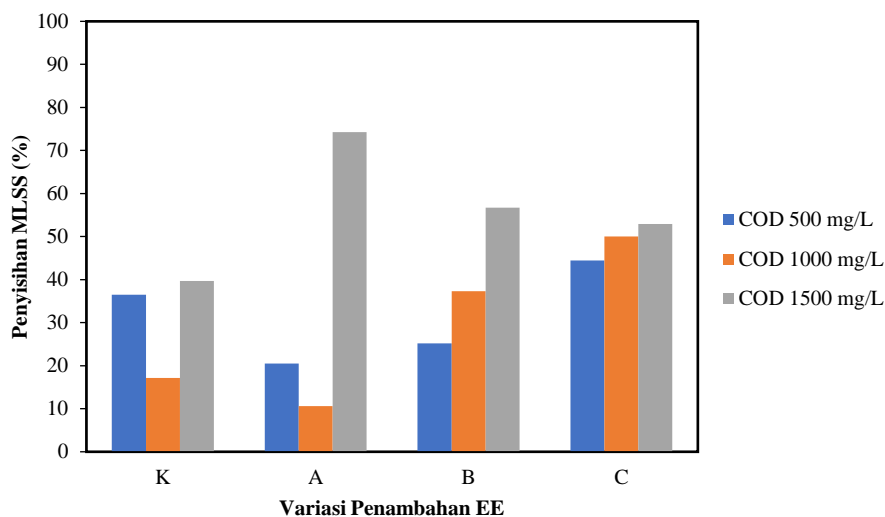
Konsentrasi COD pada air limbah RPA berada pada rentang 500-1500 mg/L setelah dilakukan pengenceran. Untuk perbandingan efisiensi penyisihan COD tertinggi dapat dilihat pada **Gambar 4.30**. Efisiensi penyisihan COD tertingginya pada variasi konsentrasi COD 1500 mg/L dan 1000 mg/L, dengan persentase yang tidak terlalu jauh berbeda. Efisiensi penyisihan COD tertinggi untuk konsentrasi COD 1500 mg/L sebesar 88,2%, konsentrasi COD 1000 mg/L sebesar 86,7%, dan konsentrasi COD 500 mg/L sebesar 75%. Dari penyisihan COD dan BOD, efisiensi penyisihan tertinggi dimiliki oleh konsentrasi COD 1500 mg/L dan 1000 mg/L.



Gambar 4.30 Perbandingan Penyisihan Konsentrasi COD Variasi COD dan EE

4.3.3 Analisis Penyisihan Konsentrasi MLSS

Konsentrasi MLSS pada air limbah RPA awal berkisar 2500 mg/L. Untuk perbandingan efisiensi penyisihan MLSS tertinggi disajikan pada **Gambar 4.31**. Terlihat bahwa efisiensi penyisihan MLSS tertinggi dimiliki oleh variasi konsentrasi COD 1500 mg/L, kemudian diikuti variasi COD 1000 mg/L, dan COD 500 mg/L. Efisiensi penyisihan MLSS tertinggi untuk konsentrasi COD 1500 mg/L, 1000 mg/L, dan 500 mg/L secara berturut-turut sebesar 74,2%, 50%, dan 44%. Dari penyisihan MLSS, efisiensi penyisihan tertinggi dimiliki oleh konsentrasi COD 1500 mg/L

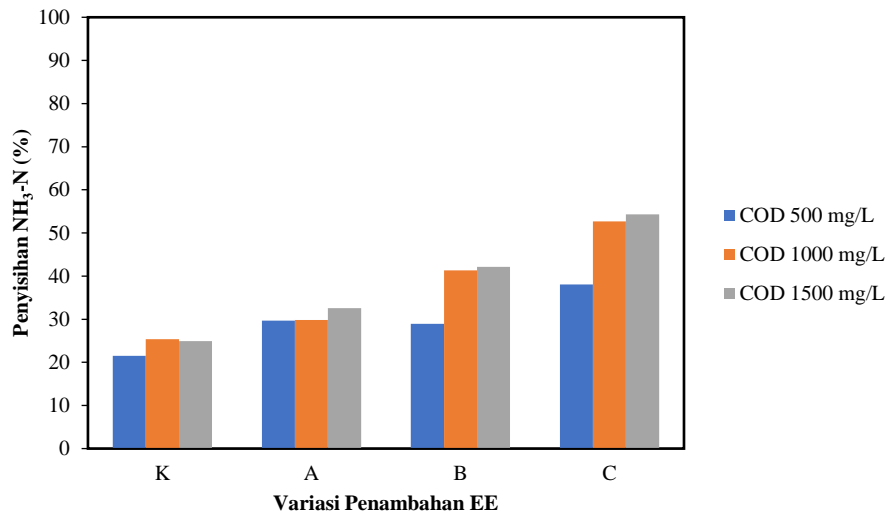


Gambar 4.31 Perbandingan Penyisihan Konsentrasi MLSS Variasi COD dan EE

4.3.4 Analisis Penyisihan Konsentrasi NH₃-N

Konsentrasi NH₃-N pada air limbah RPA berada pada rentang 42-50 mg/L setelah dilakukan pengenceran. Untuk perbandingan efisiensi penyisihan NH₃-N ditunjukkan oleh **Gambar 4.32**. Terlihat bahwa efisiensi penyisihan NH₃-N tertinggi dimiliki oleh variasi konsentrasi COD 1500 mg/L, dengan efisiensi penyisihan NH₃-N tertinggi sebesar 54,3%. Kemudian untuk konsentrasi COD 1000 mg/L sebesar 52,7% dan untuk konsentrasi COD 500

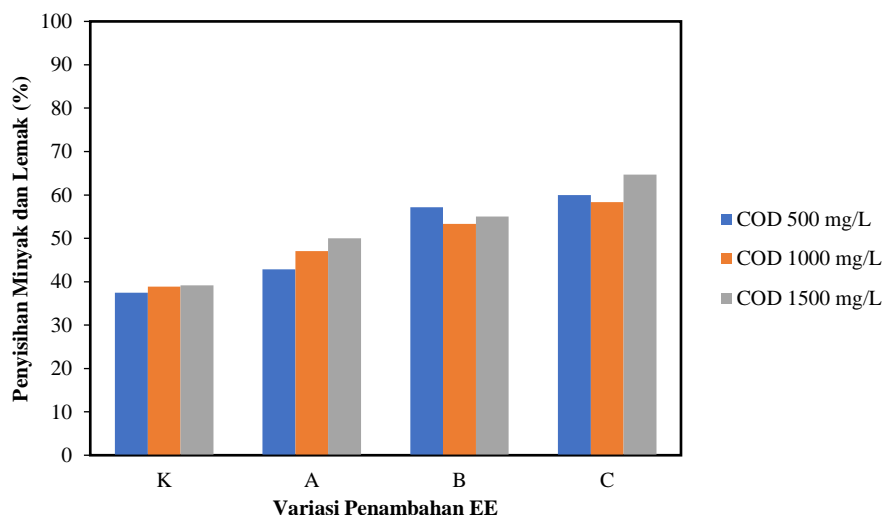
mg/L sebesar 38%. Dari penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$, efisiensi penyisihan dari ketiga variasi COD tidak terlalu jauh berbeda.



Gambar 4.32 Perbandingan Penyisihan Konsentrasi $\text{NH}_3\text{-N}$ Variasi Konsentrasi COD dan EE

4.3.5 Analisis Penyisihan Konsentrasi Minyak dan Lemak

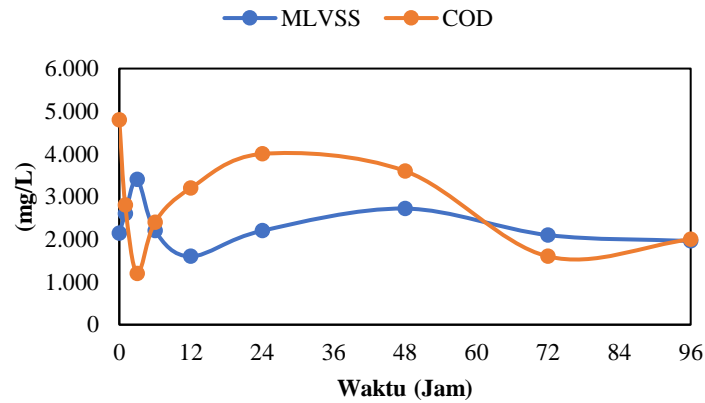
Konsentrasi minyak dan lemak pada limbah cair RPA berkisar 92-20 mg/L. Untuk perbandingan efisiensi penyisihan tertinggi pada masing-masing ditunjukkan pada **Gambar 4.33**. Terlihat bahwa efisiensi penyisihan tertingginya dimiliki oleh variasi konsentrasi COD 1500 mg/L, dengan efisiensi penyisihan $\text{NH}_3\text{-N}$ tertinggi sebesar 64,7%. Kemudian untuk konsentrasi COD 500 mg/L sebesar 58,3% dan untuk konsentrasi COD 1000 mg/L sebesar 60%. Dari penyisihan minyak dan lemak menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan dari ketiga variasi konsentrasi COD tidak terlalu jauh berbeda.



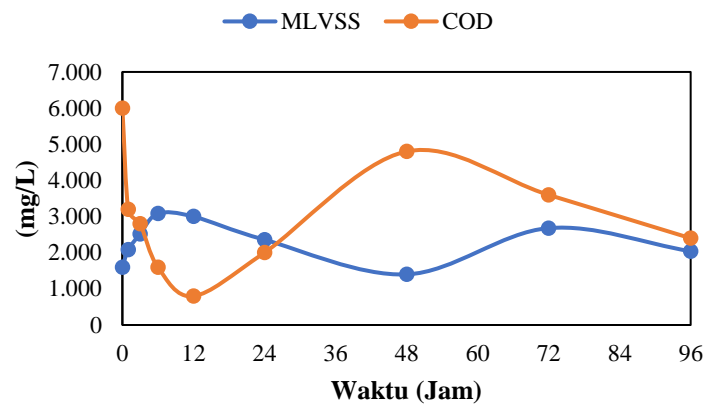
Gambar 4.33 Perbandingan Penyisihan Konsentrasi Minyak dan Lemak Variasi Konsentrasi COD dan EE

Penambahan EE mempengaruhi efisiensi penyisihan bahan organik pada variasi konsentrasi COD. Hasil yang didapatkan adalah semakin tinggi konsentrasi COD, semakin

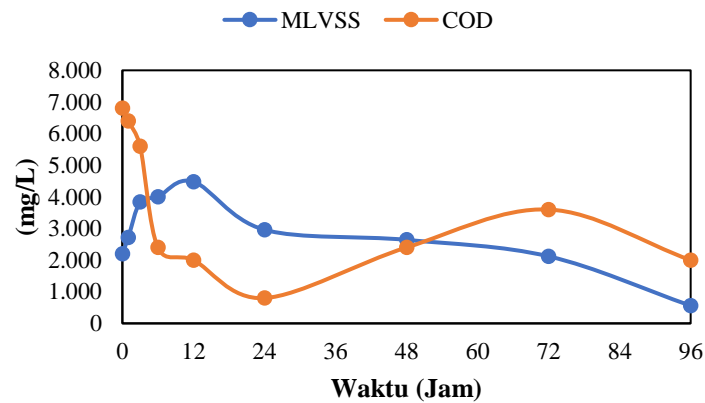
besar efisiensi penyisihan bahan organiknya. Dilakukan perbandingan pertumbuhan MLSS dengan penyisihan COD pada setiap variasi yang dapat dilihat pada **Gambar 4.34**.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.34 Perbandingan Pertumbuhan MLVSS dengan Penyisihan COD pada Variasi Konsentrasi COD (a) 500 mg/L, (b) 1000 mg/L, dan (c) 1500 mg/L

Pada **Gambar 4.34**, semakin kecil konsentrasi COD, maka semakin cepat penyisihan bahan organiknya. Menurut Lamato, dkk., (2023) kandungan asam organik yang ada pada EE menjadi penyebab peningkatan nilai COD dan BOD. Dengan konsentrasi MLSS sebagai indikator jumlah mikroba dalam reaktor yang telah ditentukan sebesar 2500 mg/L, maka proses degradasi bahan organik akan terjadi lebih cepat pada variasi konsentrasi COD 500 dan 1000 mg/L. Variasi konsentrasi COD paling rendah 500 mg/L mengalami penurunan COD & BOD lebih cepat yakni pada jam ke-3. Variasi konsentrasi COD paling rendah 1000 mg/L mengalami penurunan lebih cepat yakni pada jam ke-12. Variasi konsentrasi COD paling rendah 1500 mg/L mengalami penurunan lebih cepat yakni pada jam ke-24. Pada jam-jam tersebut menunjukkan waktu tinggal hidraulik (HRT) air limbah RPA. Semakin lama HRT, maka semakin optimal proses degradasi bahan organik (Firdha dkk., 2010). Hal ini sejalan dengan penelitian ini, konsentrasi COD 1500 mg/L memiliki nilai HRT besar dan efisiensi penyisihan bahan organik yang optimal.

Kemudian, setelah waktu penyisihan terlewati, mikroorganisme pada reaktor akan mengalami kekurangan makanan. Mikroorganisme dalam reaktor akan mengalami fase kematian. Mikroorganisme yang mati akan dianggap sebagai zat organik, sehingga terdapat peningkatan nilai COD dan BOD dan membuat penyisihan bahan organik menjadi tidak optimal (Kasih & Hendrasarie, 2023).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan dan dianalisis dalam penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan penelitian, pengaruh penambahan konsentrasi EE secara keseluruhan terbukti meningkatkan degradasi bahan organik dan pertumbuhan mikroorganisme. Penambahan EE sebanyak 10% v/v terbukti dapat menyisihkan BOD, COD, NH₃-N dan minyak dan lemak masing-masing 66%, 60%, 54,3% dan 64,7%.
2. Berdasarkan penelitian, pengaruh konsentrasi COD rentang 500-1500 mg/L pada pengolahan lumpur aktif dengan penambahan EE menunjukkan semakin besar konsentrasi COD, semakin besar efisiensi penyisihannya. Pengolahan air limbah RPA dengan lumpur aktif dan penambahan EE, didapatkan konsentrasi COD optimum pada konsentrasi 1500 mg/L dalam mendegradasi konsentrasi BOD, COD, MLSS, NH₃-N, dan minyak dan lemak.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diajukan untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Disarankan untuk menggunakan EE yang berasal dari bahan khusus, seperti satu jenis buah, sayuran, atau tumbuhan tertentu. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kandungan *enzyme* yang spesifik dari EE tersebut dan bagaimana pengaruhnya terhadap pengolahan air limbah.
2. Penelitian ini masih menggunakan kultur campuran dalam sistem pengolahan air limbah dengan penambahan EE. Oleh karena itu, disarankan untuk menggunakan mikroorganisme spesifik dan melakukan perbandingan guna mengetahui jenis mikroorganisme mana yang lebih baik performanya dalam mendegradasi bahan organik.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Afiifah, A. H. (2020). *Pengujian Chemical Oxygen Demand (COD) pada Air Limbah Pusat Pengendalian Pembangunan Ekoregion Jawa (PPPEJ) dengan Refluks Tertutup Secara Titrimetri*. Universitas Islam Indonesia.
- Anisa, A., & Herumurti, A. (2017). Pengolahan Limbah Domestik Menggunakan Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) dengan Proses Aerobik-Anoksik untuk Menurunkan Nitrogen. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2).
- Apema, F. D., Rahayu, D. E., Adnan, F., & Waryati. (2023). Penggunaan Media Sarang Tawon dan Bioball pada Biofilter Aerob pada Pengolahan Limbah Cair Laundry. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, 7(1). <https://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TL/article/viewFile/11809/5276>
- Apriyanti, E. (2018). Efek Sentra Pemotongan Ayam terhadap Kesehatan Lingkungan Masyarakat Pemukiman. *JGG-Jurnal Green Growth dan Manajemen Lingkungan*, 7(1).
- Aristiana, T., & Purnomo, Y. S. (2020). Penurunan Kadar COD, TSS, dan Ammonia Total (NH₃-N) pada Air Limbah Pemotongan Puyuh dengan Menggunakan Biofilter Anaerob-Aerob. *Jurnal Envirous*, 1(1). <https://media.neliti.com/media/publications/357009-penurunan-kadar-cod-tss-dan-ammonia-tota-e4933e11.pdf>
- Damuk, Y. F., Sudiro, & Dwiratna, C. (2022). Pengolahan Limbah Cair Rumah Potong Ayam dengan Metode Free Water Surface Menggunakan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) sebagai Media Fitoremediasi. *Jurnal Enviro*. <https://eprints.itn.ac.id/10414/17/JURNAL.pdf>
- Fadzry, N., Hidayat, H., & Eniati, E. (2020). Analisis COD, BOD, dan DO pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Balai Pengelolaan Infrastruktur Air Limbah dan Air Minum Perkotaan Dinas PUP-ESDM Yogyakarta. *IJCR-Indonesian Journal of Chemical Research*, 5(1), 80–89. <https://doi.org/10.20885/ijcer.vol5.iss2.art5>
- Firdha, I., Ahmad, A., & Amraini, S. Z. (2010). Pengaruh Waktu Tinggal Hidrolik (WTH) terhadap Penyisihan COD Limbah Cair Pabrik Minyak Sawit Menggunakan Bioreaktor Hibrid Anaerob bermedia Batu Skala Pilot Plant. *Seminar Nasional Fakultas Teknik-UR*.
- Fisma, I. Y., & Bhernama, B. G. (2020). Analisis Air Limbah Masuk pada Waste Water Treatment Plant (WWTP). *AMINA*, 2(2).
- Gani, H. Z. A., Yanuwadi, B., & Rachmansyah, A. (2022). Penerapan Metode Activated Sludge dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Beru. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 9(2), 135–143.
- Gilalom, F., Arifin, & Utomo, K. P. (2021). Pengolahan Limbah Cair Rumah Makan dengan Biofilter Aerob Menggunakan Media Filter Bio-yarn. *Jurnal Rekayasa Lingkungan Tropis Teknik Lingkungan Universitas Tanjungpura*.
- Herman. (2023). Analisis Pengelolaan Air Limbah Rumah Potong Hewan dan Dampaknya Terhadap Lingkungan Ditinjau dari Perspektif One Health (Studi kasus pada UPTD Rumah Potong Hewan Jone) | Herman | Al Qalam: Jurnal Ilmiah Keagamaan dan Kemasyarakatan. *Al Qalam: Jurnal Ilmiah Keagamaan dan Kemasyarakatan*, 17(4). <https://jurnal.stiq-amuntai.ac.id/index.php/al-qalam/article/view/2438/1053>
- Ilham, A. S., Masri, M., & Rosmah. (2023). Analisis Kadar Biochemical Oxygen Demand (BOD) Salah Satu Sungai di Sulawesi Selatan. *Filogeni: Jurnal Mahasiswa Biologi*, 3(2), 112–116.
- Istirokhatun, T., Aulia, M., & Sudarno. (2017). Potensi *Chlorella* Sp. Untuk Menyisihkan COD dan Nitrat dalam Limbah Cair Tahun. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 14(2).

- Kaiser, G. (2016, Maret 22). *17.2: Factors that Influence Bacterial Growth*. Biology LibreTexts. [https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Microbiology_\(Kaiser\)/Unit_7%3A_A_Microbial_Genetics_and_Microbial_Metabolism/17%3A_Bacterial_Growth_and_Energy_Production/17.2%3A_Factors_that_Influence_Bacterial_Growth](https://bio.libretexts.org/Bookshelves/Microbiology/Microbiology_(Kaiser)/Unit_7%3A_A_Microbial_Genetics_and_Microbial_Metabolism/17%3A_Bacterial_Growth_and_Energy_Production/17.2%3A_Factors_that_Influence_Bacterial_Growth)
- Kasih, B. C., & Hendrasarie, N. (2023). Penggunaan Eco-enzyme sebagai Suplemen Mikroorganisme Pendegradasi Minyak Lemak dan COD pada Air Limbah Restoran. *Jurnal EnviScience (Environment Science)*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.30736/7ijev.v7iss2.561>
- Mandasari, M., Indrawati, E., & Aqmal, A. (2023). Pemanfaatan Eco Enzyme dalam Stabilisasi pH Air Media Budidaya Ikan Nila *Oreochromis Niloticus* dengan Sistem Tanpa Pergantian Air. *Journal of Aquaculture and Environment*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.35965/jae.v5i2.2309>
- Masduqi, A., & Assomadi, A. F. (2016). *Operasi dan Proses Pengolahan Air* (Kedua). ITS PRESS.
- Merdana, I. M., Suada, I. K., Watiniasih, N. L., Sudira, I. W., Sudimartini, L. M., Ani, N. L. S., & Budiasa, K. (2021). Improving The Quality of Wastewater in Traditional Chicken Slaughterhouses Using Moringa Seed Powder. *IOP Publishing*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/673/1/012028>
- Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (4 ed.). Mc Graw-Hill.
- Mirbagheri, S. A., Bagheri, M., Ehteshami, M., Bagheri, Z., & Poursaghar, M. (2015). Modeling of Mixed Liquor Volatile Suspended Solids and Performance Evaluation for a Sequencing Batch Reactor. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 9(1), 54–65. <https://doi.org/10.4090/juee.2015.v9n1.054065>
- Oulebsir, R., Lefkir, A., Safri, A., & Bermad, A. (2019). Optimization of The Energy Consumption in Activated Sludge Process Using Deep Learning Selective Modeling. *Biomass and Bioenergy*.
- Oviantari, M. V., Gunamantha, I. M., & Wibawa, R. (2023). Potensi Eco Enzyme dari Rumput Bebek (*Lemna Minor*) dalam Menurunkan Kadar BOD pada Air Limbah Laundry. *Jurnal Teknologi Lingkungan UNMUL*, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.30872/jtlunmul.v7i1.9441>
- Pelczar, M. J., Chan, E. C. S., & Krieg, N. R. (1986). *Microbiology* (5 ed.). Tata McGraw Hill Education Private Limited.
- Pranoto, K., Pahilda, W. R., Abfertiawan, M. S., Elistyandari, A., & Sutikno, A. (2019). Teknologi Lumpur Aktif dalam Pengolahan Air Limbah Pemukiman Karyawan dan Perkantoran PT Kaltim Prima Coal. *Indonesian Mining Professionals Journal*, 1(1).
- Prasetio, V. M., Ristiawati, T., & Philiyanti, F. (2021). Manfaat Eco-Enzyme pada Lingkungan Hidup serta Workshop Pembuatan Eco-Enzyme. *Darmacitya : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), Article 1.
- Putri, A. I. (2023). *Pengolahan Limbah Cair Rumah Pematangan Ayam dengan Kombinasi Metode Aerasi Terdifusi dan Biosand Filter*. Universitas Islam negeri Ar-Raniry.
- Salvi, S. S., & Kerker, S. (2020). Application of Eco-Enzyme for Domestic Wastewater Treatment. *International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM)*, 5.
- Samudro, G., & Mangkoedihardjo, S. (2010). "Review on BOD, COD, and BOD/COD Ratio: A Triangle Zone for Toxic, Biodegradable, and Stable Levels. *International Journal Academic Research*, 2(4), 235–239.
- Shalindry, R. O., Rochmadi, & Budhijanto, W. (2015). Penguraian Limbah Organik secara Aerobik dengan Aerasi Menggunakan Microbubble Generator dalam Kolam dengan Imobilisasi Mikroorganisme. *Jurnal Rekayasa Proses*, 9(2), 58–64.

- Widyastuti, S., Sutrisno, J., Wiyarno, Y., Gunawan, W., & Nurhayati, I. (2023). Eco-Enzyme untuk Pengolahan Air Limbah Tahu. *Jurnal Waktu*, 21(2).
- Wikaningrum, T., & Anggraini, P. L. (2022). The Eco-Enzyme Application to Reduce Nitrite in Wastewater as The Sustainability Alternative Solution in Garbage and Wastewater Problems. *IOP Publishing*. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1065/1/012023/pdf>
- 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>
- Wikaningrum, T., & Pratamadina, E. (2022). Potensi Penggunaan Eco Enzyme Sebagai Biokatalis Dalam Penguraian Minyak dan Lemak pada Air Limbah Domestik. *Jurnal Serambi Engineering*, 7(4). <https://doi.org/10.32672/jse.v7i4.4849>
- Wiyantoko, B., Kurniawati, P., & Purbaningtias, T. E. (2017). Pengujian Nitrogen Total, Kandungan Air dan Cemarkan Logam Timbal pada Pupuk Anorganik Nitrogen Phospor Kalium (NPK) Padat. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 6(1).
- Yaakob, M. A., Mohamed, R. M. S. R., Al-Gheethi, A. A. S., & Kassim, A. H. M. (2018). Characteristics of Chicken Slaughterhouse Wastewater. *Chemical Engineering Transactions*, 63, 637–642. <https://doi.org/10.3303/CET1863107>

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

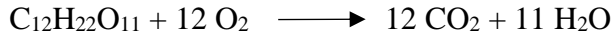
LAMPIRAN A

PERHITUNGAN JUMLAH GULA UNTUK TAHAP *SEEDING*

Rasio penambahan gula dan air limbah RPA sebagai sumber organik pada tahap *seeding* adalah 2:1.

Diketahui:

Reaksi kimia penguraian glukosa



$C_{12}H_{22}O_{11}$ memiliki Mr sebesar 342

$12 O_2$ memiliki Mr sebesar 384

Sehingga dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui konsentrasi COD $C_{12}H_{22}O_{11}$

$$COD C_{12}H_{22}O_{11} = \frac{Mr O_2}{Mr C_{12}H_{22}O_{11}}$$

$$COD C_{12}H_{22}O_{11} = \frac{384}{342}$$

$$COD C_{12}H_{22}O_{11} = 1,12 \frac{mg O_2}{mg C_{12}H_{22}O_{11}}$$

Kemudian dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui massa glukosa yang dibutuhkan untuk COD 2720 mg/L, karena perbandingan gula dan air limbah RPA 2:1, maka kebutuhan gula adalah 906,6 mg/L.

$$\frac{1 mg C_{12}H_{22}O_{11}}{x mg C_{12}H_{22}O_{11}} = \frac{1,12 mg O_2}{906,6 mg O_2}$$

$$x mg C_{12}H_{22}O_{11} = \frac{906,6 mg O_2}{1,12 mg O_2}$$

$$x mg C_{12}H_{22}O_{11} = 807,5 mg$$

$$x mg C_{12}H_{22}O_{11} = 0,807 g C_{12}H_{22}O_{11}/L$$

Kemudian dalam tahap *seeding* dan aklimatisasi, volume lumpur yang direncanakan sebanyak 20 L, sehingga kebutuhan gula sebagai berikut:

$$x mg C_{12}H_{22}O_{11} = 0,807 g \times$$

$$x mg C_{12}H_{22}O_{11} = 0,807 g/L \times 20 L$$

$$x mg C_{12}H_{22}O_{11} = 16,15 g$$

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN B

METODE ANALISA PARAMETER UJI

B.1 Analisis BOD

Pembuatan Larutan Nutrisi

Alat:

1. Aerator
2. Pipet ukur
3. Ember

Bahan:

1. 0,25 g Feri Klorida ($\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$)
2. 27,5 g Kalium Klorida (CaCl_2)
3. 22,5 g Magnesium Sulfat ($\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$)
4. 8,5 g Monopotassium Fosfat (KH_2PO_4)
5. 33,4 g Sodium Hidrogen Fosfat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$)
6. 21,7 g Dikalium Fosfat (K_2HPO_4)
7. 1,7 g Amonium Klorida (NH_4Cl)
8. Larutan benih (Lumpur IPLT Keputih)

Langkah-Langkah:

a. Pembuatan larutan Buffer Fosfat (1 Liter)

1. Tambahkah 8,5 g KH_2PO_4 pada labu ukur 1 liter.
2. Tambahkan 33,4 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ pada labu ukur 1 liter.
3. Tambahkan 21,7 g K_2HPO_4 pada labu ukur 1 liter.
4. Tambahkan 1,7 g NH_4Cl pada labu ukur 1 liter.
5. Tambahkan aquadest hingga batas tera labu ukur 1 liter.

b. Pembuatan larutan Magnesium Sulfat

1. Tambahkan 22,5 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ pada labu ukur 1 liter.
2. Tambahkan aquades hingga batas tera 1 liter.

c. Pembuatan larutan Kalium Klorida

1. Tambahkan 27,5 g CaCl_2 pada labu ukur 1 liter
2. Tambahkan aquades hingga batas tera 1 liter.

d. Pembuatan larutan Feri Klorida

1. Tambahkan 0,25 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ pada labu ukur 1 liter.
2. Tambahkan aquades hingga batas tera 1 liter.

e. Pembuatan Larutan Nutrisi atau Pengencer

1. Tambahkan 1 mL larutan Buffer Fosfat, larutan Magnesium Sulfat larutan Kalium Klorida, dan larutan benih yang sudah diaerasi minimal selama 2 jam setiap liter air pengencer yang dibuat.
2. Aerasi larutan nutrisi minimal selama 2 jam dan diamkan selama 1 jam sebelum penggunaan larutan nutrisi

B.2 Analisis NH₃-N

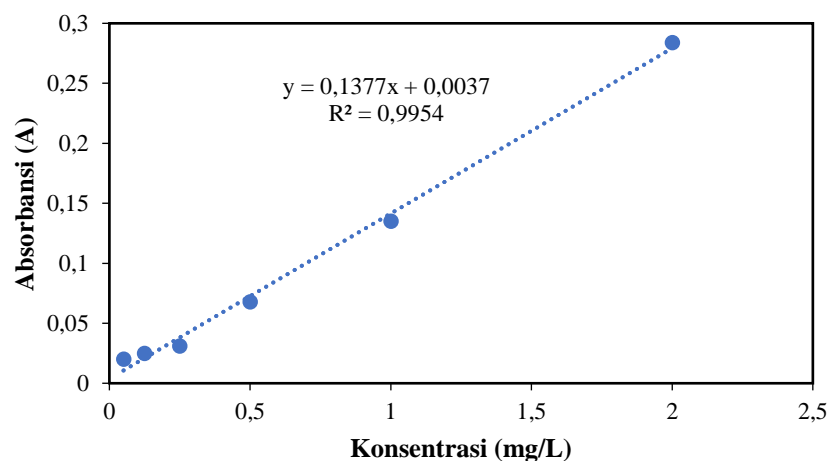
Pembuatan Kurva Kalibrasi Ammonia (NH₄⁺)

Alat:

1. Erlenmeyer 250 mL
2. Pipet ukur 5 mL
3. Gelas ukur 25 mL
4. Kuvet
5. Spektrofotometer
6. Timbangan analitik

Bahan:

1. Ammonium Klorida
 2. Larutan Nessler
 3. Larutan garam Signet
- a. Pembuatan Larutan Baku Amonia setara dengan konsentrasi amonia 1000 mg/L
- Keringkan NH₄Cl di oven selama 1 jam untuk mendapatkan berat tetap.
 - Timbang NH₄Cl sebanyak 3,819 g.
 - Tambahkan aquades hingga batas tera labu ukur 1000 mL
- b. Pembuatan Kurva Kalibrasi
- Larutan baku ammonia 1000 mg/L diencerkan hingga konsentrasi yang diinginkan, yaitu 0,4; 0,6; 0,8; 1; 2; dan 3 mg/L.
 - Masukkan 25 mL masing-masing konsentrasi larutan ammonia pada erlenmeyer 250 mL.
 - Tambahkan 1 mL Larutan Nessler.
 - Tambahkan 1,25 mL Larutan Garam Signet.
 - Diamkan selama ± 10 menit untuk pembentukan warna.
 - Dimasukkan sampel ke dalam kuvet dan lakukan pencarian panjang gelombang optimum melalui fitur yang tersedia pada alat Spektrofotometer melalui fitur scan.
 - Setelah didapatkan panjang gelombang optimum, mencari nilai absorbansi dari masing-masing konsentrasi, melalui fitur quant pada alat spektrofotometer yang digunakan.
 - Nilai Absorbansi yang didapatkan, di-plot-kan ke dalam grafik untuk mendapatkan persamaan linear dan nilai regresinya. Kurva kalibrasi dapat digunakan apabila nilai regresi minimal 0,995. Berikut merupakan kurva kalibrasi yang digunakan pada analisis TKN



LAMPIRAN C HASIL ANALISIS

C.1 Analisis Lumpur Sebelum Dilakukan Pencampuran

Tanggal Pengambilan			Parameter	
			MLSS (mg/L)	MLVSS (mg/L)
18/03/2024	Seeding & Aklimatisasi	Lumpur	3600	2300
27/03/2024	Running 1	Lumpur	13640	10000
17/04/2024	Running 2	Lumpur	12400	9040
24/04/2024	Running 3	Lumpur	13360	9084

C.2 Analisis pH

pH												
Waktu	K1	A1	B1	C1	K2	A2	B2	C2	K3	A3	B3	C3
0	7,34	7,2	6,98	6,67	7,14	6,9	6,78	6,27	7,1	6,82	6,55	6,32
1	7,6	7,52	7,39	7,21	7,4	7,32	7,09	6,81	7,72	7,6	7,21	7,23
3	7,61	7,61	7,35	7,32	7,43	7,41	7,17	6,92	7,81	7,61	7,32	7,51
6	7,63	7,64	7,27	7,43	7,43	7,54	7,24	7,01	7,94	7,63	7,43	7,58
12	7,79	7,58	7,64	7,68	7,59	7,64	7,54	7,28	8,04	7,79	7,68	7,68
24	7,92	7,88	7,93	7,7	7,72	7,78	7,73	7,5	8,18	7,82	7,7	7,74
48	8,2	7,98	8,14	7,91	7,64	7,74	7,81	7,55	8,14	7,9	7,91	7,99
72	8,42	8,01	8,17	7,91	8,22	7,91	7,97	7,71	8,31	8,12	7,91	8,05
96	8,41	8,03	8,08	7,89	8,24	8,03	7,98	7,73	8,43	8,56	8,65	8,38

C.3 Analisis Suhu

Suhu (°C)												
Waktu	K1	A1	B1	C1	K2	A2	B2	C2	K3	A3	B3	C3
0	30,2	30,3	30,2	30,2	30,4	30,4	30,4	30,1	30,1	30	30	29,8
1	30,4	30,6	30,5	30,5	30,5	30,4	30,4	30,4	30,2	30,2	30,2	30
3	30,5	30,6	30,6	30,6	30,7	30,6	30,7	30,7	30,2	30,2	30,2	30,1
6	30,4	30,5	30,5	30,4	30,7	30,7	30,8	30,8	30,2	30,3	30,2	30,2
12	30,3	30,3	30,4	30,3	30,3	30,4	30,4	30,6	30,3	30,4	30,4	30,3
24	30,3	30,4	30,4	30,3	30,4	30,4	30,3	30,4	30	30	29,9	29,9
48	30,4	30,5	30,3	30,4	30,3	30,2	30,2	30,4	29,8	29,8	29,8	29,7
72	30,3	30,3	30,2	30,2	30,6	30,6	30,5	30,6	29,9	29,8	30	29,8
96	30,3	30,3	30,3	30,2	30,5	30,5	30,4	30,6	29,9	29,9	29,9	29,8

C.4 Analisis BOD

BOD (mg/L)												
Waktu	K1	A1	B1	C1	K2	A2	B2	C2	K3	A3	B3	C3
0	2.013	2.337	2.097	2.330	2.038	2.253	2.400	2.431	3.050	3.340	3.268	3.266
1	1.670	1.660	1.433	1.534	1.799	1.506	2.134	1.939	2.664	2.914	2.685	2.917
3	874	623	767	1.048	1.496	1.339	1.355	1.743	1.686	1.979	2.362	2.693
6	1.277	1.267	1.419	1.514	1.033	773	988	988	1.268	852	1.532	2.060
12	1.419	1.430	1.515	1.803	846	224	434	572	938	703	1.046	1.689
24	1.501	982	1.360	1.407	1.336	441	980	1.158	1.022	236	524	1.101
48	1.254	805	992	1.104	1.431	1.105	779	1.395	1.748	784	1.186	1.648
72	734	508	621	931	783	1.148	1.148	911	1.474	1.151	1.757	2.016
96	614	391	577	577	631	487	667	631	1.340	620	1.100	1.880

C.5 Analisis COD

COD (mg/L)												
Waktu	K1	A1	B1	C1	K2	A2	B2	C2	K3	A3	B3	C3
0	4.400	4.800	4.800	5.200	5.200	6.000	6.400	6.800	6.400	6.800	7.200	8.000
1	2.800	2.800	3.600	3.600	3.200	3.200	5.200	5.200	6.000	6.400	6.400	7.600
3	1.600	1.200	2.400	2.000	2.800	2.800	3.600	3.600	4.000	5.600	6.000	7.200
6	2.400	2.400	3.600	2.800	2.000	1.600	2.400	2.000	3.200	2.400	4.000	5.600
12	2.800	3.200	4.400	3.600	1.600	800	1.200	1.200	2.400	2.000	2.800	4.800
24	3.200	4.000	4.000	2.800	2.800	2.000	2.800	2.400	2.800	800	1.600	3.200
48	2.800	3.600	3.200	2.400	3.200	4.800	2.400	3.600	5.200	2.400	3.600	4.800
72	2.000	1.600	2.000	2.800	2.000	3.600	3.600	2.800	4.800	3.600	5.600	6.000
96	3.200	2.000	3.200	2.800	3.200	2.400	3.200	2.800	4.400	2.000	3.600	5.600

C.6 Analisis MLSS

MLSS (mg/L)												
Waktu	K1	A1	B1	C1	K2	A2	B2	C2	K3	A3	B3	C3
0	2.520	2.540	2.620	2.700	2.560	2.640	2.680	2.800	2.520	2.640	2.680	2.720
1	2.800	3.000	3.020	3.280	3.000	3.880	3.160	3.280	3.020	3.160	3.440	3.680
3	3.640	4.000	3.980	3.800	4.120	4.640	4.360	3.920	3.470	4.240	4.520	3.960
6	2.800	2.440	2.980	2.120	4.480	5.040	4.720	4.720	4.920	4.440	4.560	4.120
12	1.620	2.020	2.500	1.500	3.400	4.880	4.280	3.960	3.920	5.360	5.040	4.680
24	1.900	2.580	2.360	1.720	3.040	3.960	2.720	2.400	2.960	3.480	2.600	3.200
48	2.200	2.900	2.640	2.600	2.160	2.360	1.680	1.400	3.360	2.840	2.960	2.840
72	1.720	2.280	1.960	2.360	3.800	3.840	2.960	3.080	2.880	2.320	3.720	2.520
96	1.600	2.300	2.100	1.600	2.120	2.920	3.280	2.640	1.520	680	1.160	1.280

C.7 Analisis MLVSS

MLVSS (mg/L)												
Waktu	K1	A1	B1	C1	K2	A2	B2	C2	K3	A3	B3	C3
0	1.920	2.140	2.160	2.280	1.600	1.600	1.640	1.720	1.920	2.200	2.040	2.280
1	2.360	2.600	2.420	2.860	1.520	2.080	2.360	2.320	2.420	2.720	2.720	3.200
3	2.880	3.400	3.100	3.200	2.680	2.520	2.920	2.640	2.870	3.840	3.040	3.480
6	2.540	2.200	2.440	2.040	2.760	3.080	3.040	2.880	3.560	4.000	3.440	3.760
12	1.240	1.600	2.000	1.280	2.040	3.000	2.520	2.760	3.000	4.480	3.720	3.600
24	1.500	2.200	1.980	1.380	1.800	2.360	1.600	1.440	2.320	2.960	2.160	2.560
48	1.860	2.720	2.220	2.160	1.280	1.400	1.000	800	2.840	2.640	2.480	2.320
72	1.360	2.100	1.600	1.960	2.640	2.680	2.040	2.120	2.240	2.120	3.000	2.080
96	1.220	1.960	1.720	1.300	1.480	2.040	2.280	1.840	1.120	560	920	1.000

C.8 Analisis NH₃-N

NH ₃ -N (mg/L)												
Waktu	K1	A1	B1	C1	K2	A2	B2	C2	K3	A3	B3	C3
0	42	44	45	48	46	46	47	52	51	51	52	58
1	41	43	43	46	44	41	40	46	49	45	44	51
3	41	42	42	43	39	37	34	38	47	42	41	45
6	39	39	42	42	36	32	28	32	43	41	38	42
12	37	38	40	40	39	35	30	28	40	35	31	36
24	35	36	37	39	39	35	32	28	43	35	30	28
48	35	35	37	38	36	33	32	27	44	39	36	28
72	34	35	33	33	35	32	27	25	40	37	33	27
96	33	31	32	30	34	32	29	25	38	34	30	27

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Vinza Amaliyah dan merupakan anak sulung dari dua bersaudara. Lahir di Sidoarjo, 29 Januari 2002 dan telah menyelesaikan pendidikan formal di SDN 2 Jeruklegi, SMPN 2 Krian, dan SMAN 1 Krian. Setelah lulus dari sekolah menengah atas pada tahun 2020, Penulis melanjutkan pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan FT-SPK Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dan terdaftar dengan NRP 5014201057.

Selama berada di Departemen Teknik Lingkungan, Penulis aktif di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) dan juga aktif sebagai Asisten Praktikum Teknik Analisis Pencemaran Lingkungan. Penulis telah melakukan kerja praktik di PT. Petrokimia Gresik pada tahun 2023. Apabila terdapat masukan yang membangun, kritik, dan saran mengenai tugas akhir ini dapat melalui vinzamliyah@gmail.com.