

TUGAS AKHIR - RE 184804

**METODE OKSIDASI MENGGUNAKAN H₂O₂ PADA
LINDI DARI INLET IPAS 3 UPST BANTARGEBAH**

ZAHID JIDAN ALFANI

0321184000079

Dosen Pembimbing

Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phill., Ph.D.

NIP 19820804 200501 1 001

Lucky Caesar Direstiyani, S.T., M.Sc.

NUP 042003013

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - RE 184804

**METODE OKSIDASI MENGGUNAKAN H_2O_2 PADA
LINDI DARI INLET IPAS 3 UPST BANTARGEBAH**

ZAHID JIDAN ALFANI

03211840000079

Dosen Pembimbing

Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.

NIP 19820804 200501 1 001

Lucky Caesar Direstiyani, S.T., M.Sc.

NUP 042003013

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - RE 184804

**OXIDATION METHOD USING H₂O₂ ON LEACHATE FROM
INLET OF IPAS 3 UPST BANTARGEBAWANG**

ZAHID JIDAN ALFANI

0321184000079

Advisor

Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.

NIP 19820804 200501 1 001

Lucky Caesar Direstiyani, S.T., M.Sc.

NUP 042003013

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

METODE OKSIDASI MENGGUNAKAN H₂O₂ PADA LINDI DARI INLET IPAS 3 UPST BANTARGEBAWANG

TUGAS AKHIR

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


Oleh: **ZAHID JIDAN ALFANI**


NRP. 03211840000079

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:


1. Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.
2. Lucky Caesar Direstiyani, S.T., M.Sc.
3. Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.
4. IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.
5. Alfian Purnomo, S.T., M.T.


Pembimbing


Co-Pembimbing


Penguji


Penguji


Penguji

SURABAYA

Juli, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Zahid Jidan Alfani / 03211840000079
Departemen : Teknik Lingkungan FTSPK - ITS
Dosen Pembimbing / NIP : Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D. /
198208042005011001

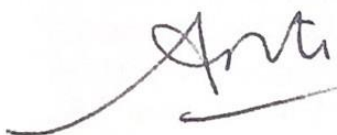
Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Metode Oksidasi Menggunakan H_2O_2 pada Lindi dari Inlet IPAS 3 UPST Bantargebang" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

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

Surabaya, 26 Juli 2022

Mengetahui,
Dosen Pembimbing

Mahasiswa,



Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.
NIP. 198208042005011001



Zahid Jidan Alfani
NRP. 03211840000079

METODE OKSIDASI MENGGUNAKAN H₂O₂ PADA LINDI DARI INLET IPAS 3 UPST BANTARGEBAW

Nama Mahasiswa / NRP : Zahid Jidan Alfani / 03211840000079
Departemen : Teknik Lingkungan FTSPK – ITS
Dosen Pembimbing : Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.
Dosen Co-Pembimbing : Lucky Caesar Direstiyani, S.T., M.Sc.

Abstrak

Lindi sangat berbahaya bila mencemari lingkungan karena tingginya kandungan organik, logam berat, garam terlarut, asam, dan mikroorganisme yang dapat bersifat patogenik. Kandungan-kandungan tersebut dipengaruhi oleh kondisi iklim, umur landfill, komposisi sampah, dan kondisi geohidrologi. Lindi yang dihasilkan dari landfill berumur tua memiliki tingkat biodegradabilitas yang rendah sehingga cocok diolah secara fisik-kimia. Tingkat biodegradabilitas yang rendah dengan rasio konsentrasi BOD₅/COD ≤ 0,1. Lindi pada Unit Pengolahan Sampah Terpadu (UPST) Bantargebang memiliki rasio konsentrasi BOD₅/COD = 0,05. Kondisi terkini pengolahan lindi pada instalasi pengolahan air sampah (IPAS), yaitu IPAS 1 dan IPAS 3 memiliki teknologi pengolahan yang bersifat biologis. Metode oksidasi H₂O₂ merupakan salah satu metode fisik-kimia yang efektif menyisihkan polutan, karena memiliki nilai potensi reduksi tinggi

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kemampuan pengolahan lindi dengan metode oksidasi menggunakan H₂O₂ dan pengaruh pH; waktu reaksi; dosis H₂O₂, terhadap residu H₂O₂. Penelitian ini menggunakan lindi inlet IPAS 3 UPST Bantargebang, dengan reaktor, sistem *batch* menggunakan *beaker glass* berkapasitas 1 L yang digunakan sebagai reaktor lalu dioperasikan dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan rotasi 200 rpm. Reaktor ditutupi dengan aluminium foil agar proses oksidasi tidak dipengaruhi oleh cahaya. Dosis yang digunakan berdasarkan rasio konsentrasi H₂O₂/COD yaitu 1,0625 dan 2,125. Waktu reaksi yang diterapkan selama 60 menit dan 180 menit. pH lindi awal yang digunakan adalah pH 5, pH 6, pH 7 dan pH lindi asli, yaitu pH 8. Setelah proses oksidasi, sampel dinetralisasi menggunakan NaOH yang bertujuan untuk dekomposisi H₂O₂ dan penyimpanan sampel. Analisis parameter lindi akhir yang diukur adalah pH, warna, BOD₅, COD, TN, TSS, dan residu H₂O₂.

Berdasarkan hasil penelitian ini, variasi yang memiliki nilai optimum pada pH 6, H₂O₂/COD 2,125, dan waktu reaksi 60 menit dengan rata-rata penyisihan warna, BOD₅, COD, TSS, TN, dan H₂O₂ tereaksikan sebesar 65%. Konsentrasi residu H₂O₂ yang lebih tinggi didapatkan pada kondisi pH awal lindi yang bersifat asam, dan waktu reaksi yang pendek. Namun, waktu reaksi yang lebih panjang juga dapat menurunkan residu H₂O₂ seiring dengan meningkatnya pH akibat reaksi oksidasi. Selain itu, konsentrasi awal H₂O₂ juga mempengaruhi konsentrasi residu H₂O₂.

Kata kunci: H₂O₂, lindi, oksidasi, pH, waktu reaksi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

OXIDATION METHOD USING H₂O₂ ON LEACHATE FROM INLET OF IPAS 3 UPST BANTARGEBAANG

Student Name / NRP : Zahid Jidan Alfani / 0321184000079

Department : Environmental Engineering FTSPK – ITS

Advisor : Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.

Co-Advisor : Lucky Caesar Direstiyani, S.T., M.Sc.

Abstract

Leachate is very dangerous if it pollutes the environment. This is due to the high content of organic matter, heavy metals, dissolved salts, acids, and microorganisms that may be pathogenic. These contents are influenced by climatic conditions, landfill age, waste composition, and geohydrological conditions. The leachate, produced from old landfills, has a low level of biodegradability so it is suitable for physical-chemical processing. The low level of biodegradability has a BOD₅/COD concentration ratio at less than 0.1. The leachate that is generated at the Unit Pengolahan Sampah Terpadu (UPST) Bantargebang has a BOD₅/COD concentration ratio of 0.05. Currently, the leachate treatment plant for wastewater treatment plants IPAS 1 and IPAS 3 are using biological technology treatment. The H₂O₂ oxidation treatment method is one of the effective physical-chemical methods in removing leachate pollutants because of the high H₂O₂ reduction potential.

The research aims to determine the ability of leachate treatment by oxidation method using H₂O₂ and the variation of pH, Reaction time, H₂O₂ dose on H₂O₂ residue. The H₂O₂ oxidation treatment method is one of the effective physical-chemical methods in removing leachate pollutants because of the high H₂O₂ reduction potential. This study used a sample of leachate inlet pond at IPAS 3 UPST Bantargebang, using a batch reactor system. A glass beaker with a capacity of 1 L was used as the reactor. The reactor was operated using a magnetic stirrer at a rotational speed of 200 rpm. The reactor is covered with aluminum foil so that the oxidation process is not affected by light. Dosage variations were carried out based on the ratio of H₂O₂/COD concentration values, namely 1,0625 and 2,125. The time variations were 60 and 180 minutes. The pH variations carried out were pH 5, pH 6, pH 7 and the original leachate pH of 8. After the oxidation process, the sample was neutralized using NaOH in order to decompose and to store the H₂O₂ sample. The final leachate was analysed for determining its concentration of BOD₅, COD, TN, TSS, and residual H₂O₂.

Based on this research, the most optimum variation has a value of pH 6, H₂O₂/COD 2,125, reaction time of 60 minutes with the average removal efficiency of colour, BOD₅, COD, TSS, TN, and H₂O₂ reacted about 65%. Higher H₂O₂ Residue concentrations were achieved in the initial leachate acidic pH and short reaction time. However, longer reaction time also can reduce H₂O₂ residue as the pH level increases because of oxidation. Moreover, initial H₂O₂ concentration also affects the H₂O₂ residue.

Keywords: H₂O₂, leachate, oxidation, pH, reaction time

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena berkat limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Metode Oksidasi Menggunakan H₂O₂ pada Lindi dari Inlet IPAS 3 UPST Bantargebang” ini dengan tepat waktu. Tugas akhir ini dibuat guna memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik di Departemen Teknik Lingkungan, FTSPK, ITS.

Dengan selesainya tugas akhir ini, tidak lupa penulis sampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu kelancaran penyelesaian tugas akhir ini, antara lain:

1. Bapak Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D., dan Ibu Lucky Caesar Direstiyani, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dengan penuh kesabaran.
2. Ibu Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc. dan IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T. selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan masukan dan bimbingannya.
3. Seluruh staf dan pengelola IPAS 3 UPST Bantargebang.
4. Seluruh laboran Laboratorium Teknik Penyehatan dan Lingkungan Universitas Indonesia.
5. Papa dan Mama yang telah memberikan dukungan moral dan materi.
6. Cikal Ramadhanti Arisantika yang telah memberikan dukungan moral, waktu, pikiran, dan tenaga.

Dalam penyusunan tugas akhir ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Surabaya, 26 Juli 2022

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Kualitas, Karakteristik, dan Baku Mutu Lindi.....	5
2.1.1 Kualitas Lindi IPAS 3 UPST Bantargebang.....	5
2.1.2 Karakteristik Lindi dan Baku Mutu Lindi	6
2.2 Metode Pengolahan Lindi	7
2.3 Hidrogen Peroksida (H ₂ O ₂).....	8
2.4 Kombinasi H ₂ O ₂ pada Mekanisme Reaksi AOPs.....	10
2.5 Penelitian Terdahulu tentang Oksidasi yang Menggunakan H ₂ O ₂	11
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1 Metodologi Penelitian.....	13
3.2 Pengumpulan Data.....	14
3.3 Persiapan Penelitian.....	14
3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan.....	14
3.3.2 Pengambilan dan Penyimpanan Sampel.....	15
3.3.3 Persiapan Reaktor.....	16
3.4 Pelaksanaan Penelitian.....	16
3.4.1 Variasi Penelitian.....	17
3.4.2 Analisis Parameter.....	17
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
4.1 Karakteristik Lindi Inlet IPAS 3 UPST Bantargebang.....	19
4.2 Pengaruh Oksidasi H ₂ O ₂ terhadap Parameter Air.....	20

4.2.1	Pengaruh Oksidasi H ₂ O ₂ terhadap Penyisihan Warna dan TSS	20
4.2.2	Pengaruh Oksidasi H ₂ O ₂ terhadap Penyisihan COD dan BOD ₅	22
4.2.3	Pengaruh Oksidasi H ₂ O ₂ terhadap Penyisihan TN	25
4.2.4	Pengaruh Oksidasi H ₂ O ₂ terhadap Residu H ₂ O ₂	26
4.3	Pengaruh Variasi terhadap Oksidasi H ₂ O ₂	27
4.3.1	Pengaruh Waktu Reaksi dan Dosis H ₂ O ₂ terhadap Oksidasi H ₂ O ₂	27
4.3.2	Pengaruh pH terhadap Oksidasi H ₂ O ₂	29
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1	Kesimpulan.....	33
5.2	Saran.....	33
	DAFTAR PUSTAKA	35
	LAMPIRAN A. PROSEDUR ANALISIS PARAMETER AIR.....	41
	LAMPIRAN B. PROSEDUR PENGATURAN PH DAN KEBUTUHAN H ₂ O ₂	49
	LAMPIRAN C. DATA HASIL ANALISIS	51
	LAMPIRAN D. DOKUMENTASI.....	53
	BIODATA PENULIS	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	14
Gambar 3.2 Reaktor Penelitian.....	16
Gambar 3.3 Bagan Alir Penelitian.....	16
Gambar 4.1 Pengaruh Dosis H ₂ O ₂ dan Waktu reaksi terhadap Penyisihan Warna pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5	20
Gambar 4.2 Pengaruh Dosis H ₂ O ₂ dan Waktu reaksi terhadap Penyisihan TSS pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5	21
Gambar 4.3 Pengaruh Dosis H ₂ O ₂ dan Waktu reaksi terhadap Penyisihan COD pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5	22
Gambar 4.4 Pengaruh Dosis H ₂ O ₂ dan Waktu reaksi terhadap Penyisihan BOD ₅ pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5	23
Gambar 4.5 Pengaruh Dosis H ₂ O ₂ dan Waktu reaksi terhadap Rasio BOD ₅ /COD pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5	24
Gambar 4.6 Pengaruh Dosis H ₂ O ₂ dan Waktu reaksi terhadap Penyisihan TN pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5	25
Gambar 4.7 Pengaruh Dosis H ₂ O ₂ dan Waktu Reaksi terhadap H ₂ O ₂ yang Tereaksikan pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5.....	26
Gambar 4.8 Pengaruh Dosis H ₂ O ₂ dan Waktu Reaksi terhadap Parameter H ₂ O ₂ Tereaksikan, Warna, TSS, COD, BOD ₅ , dan TN pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5	28

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kualitas Lindi pada Bulan Juli-November 2021 dan Nilai Rata-rata.....	5
Tabel 2.2 Klasifikasi Karakteristik Lindi Berdasarkan Umur <i>Landfill</i>	6
Tabel 2.3 Baku Mutu Lindi	7
Tabel 2.4 Efektivitas Pengolahan Dibandingkan dengan Karakteristik Lindi	7
Tabel 2.5 Hubungan Potensi Reduksi Standar dari Beberapa Oksidator dengan Elektroda Hidrogen Standar.....	9
Tabel 2.6 Data Penelitian Terdahulu tentang Oksidasi yang Menggunakan H ₂ O ₂	11
Tabel 3.1 Alat dan Bahan Uji Parameter Air.....	14
Tabel 3.2 Variasi Penelitian.....	17
Tabel 3.3 Metode Analisis Parameter.....	18
Tabel 4.1 Karakteristik Lindi.....	19
Tabel 4.2 pH Awal Lindi Sebelum dan Setelah Proses Pengolahan	29

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Unit Pengolahan Sampah Terpadu (UPST) Bantargebang terletak di tiga kelurahan, yaitu Kelurahan Ciketing Udik, Kelurahan Cikuwul, dan Kelurahan Sumur Batu, Kecamatan Bantargebang, Kota Bekasi. UPST Bantargebang mulai beroperasi pada tahun 1989 oleh BKLH Provinsi DKI Jakarta dan BKL Provinsi Jawa Barat. UPST Bantargebang memiliki luas 104,7 ha yang terdiri dari 81,4 ha *landfill* (6 zona) dan 23,3 ha sarana dan prasarana (upstdlh.id, n.d.).

Timbunan sampah dapat membentuk lindi karena terjadi infiltrasi air hujan dan reaksi fisik-kimia-biologi selama infiltrasi, maupun dari kadar air yang terkandung dalam sampah itu sendiri (Said dan Hartaja, 2015; Tejera *et al.*, 2021). Kandungan organik, logam berat, asam, garam terlarut, dan mikroorganisme dalam lindi terbilang tinggi sehingga lindi dapat sangat berbahaya bila mencemari lingkungan. Karakteristik lindi tergantung dari kondisi iklim, umur *landfill*, komposisi sampah, dan kondisi hidrogeologinya (Said dan Hartaja, 2015).

Umur *landfill* dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu muda (<5 tahun), menengah (5–10 tahun), dan tua (>10 tahun) (Peng, 2017). Setiap umur *landfill* menghasilkan karakteristik lindi yang berbeda-beda. *Landfill* berumur muda memiliki karakteristik lindi dengan konsentrasi *biochemical oxygen demand* (BOD₅) tinggi (4.000–15.000 mg/L), *chemical oxygen demand* (COD) tinggi (25.000–60.000 mg/L), konsentrasi ammonia-nitrogen rendah (<400 mg/L), tingkat biodegradabilitas tinggi (BOD₅/COD ≈ 0,5–1), dan pH kurang dari 6,5. *Landfill* berumur tua memiliki karakteristik lindi dengan konsentrasi COD rendah (<4.000 mg/L), konsentrasi ammonia-nitrogen (400–5.000 mg/L), tingkat biodegradabilitas rendah (BOD₅/COD <0,1), dan pH lebih dari 7,5 (Amor *et al.*, 2015; Peng, 2017; Tejera *et al.*, 2021). *Landfill* berumur menengah memiliki karakteristik lindi diantara keduanya. Lindi dari *landfill* berumur muda dapat diolah secara biologis karena tingginya tingkat biodegradabilitas, sedangkan lindi dari *landfill* berumur tua diolah secara fisik-kimia seperti koagulasi/flokulasi, presipitasi kimia, teknologi membran, atau *advanced oxidation processes* (AOPs) karena tingkat biodegradabilitas yang rendah (Tejera *et al.*, 2021).

Berdasarkan laporan hasil uji laboratorium, nilai konsentrasi BOD₅, COD, *total suspended solid* (TSS), nitrogen total (TN), dan pH lindi UPST Bantargebang yang diukur pada bulan Juli 2021 sampai September 2021 secara berturut-turut berkisar antara 49–336 mg/L, 91–6500 mg/L, 37–420 mg/L, 46–5000 mg/L, dan 8,3–8,6. Jika dirata-ratakan nilai BOD₅, COD, TSS, TN, dan pH secara berturut-turut adalah 151,4 mg/L, 2794,6 mg/L, 216,7 mg/L, 2278,4 mg/L, dan 8,2. Berdasarkan data tersebut bahwa perbandingan nilai konsentrasi BOD₅/COD sama dengan 0,05. Berdasarkan Peng (2017) dan Tejera *et al.* (2021), bahwa perbandingan nilai konsentrasi BOD₅/COD lindi kurang dari 0,1; lindi tersebut memiliki tingkat biodegradabilitas rendah sehingga diperlukan proses pengolahan secara fisik-kimia.

UPST Bantargebang memiliki tiga instalasi pengolahan air sampah (IPAS), yaitu IPAS 1 dan IPAS 3 dengan teknologi kolam ekualisasi – kolam fakultatif – rotating biological denitrification – aerasi – koagulasi – flokulasi – kolam pengendap – sand filter, serta IPAS 2 dengan teknologi kolam ekualisasi – filter – AOPs – aerasi. Teknologi pengolahan lindi IPAS

1 dan IPAS 3 yang bersifat biologis sehingga kurang cocok dengan karakteristik lindi UPST Bantargebang. Proses fisik-kimia diperlukan dalam mengolah lindi dengan tingkat biodegradabilitas rendah. Proses fisik-kimia yang paling umum digunakan dalam pengolahan lindi adalah koagulasi/flokulasi, *reverse* osmosis, adsorpsi karbon aktif, dan AOPs (Tejera *et al.*, 2021).

H₂O₂ merupakan oksidator kuat yang berperan dalam mendegradasi senyawa dalam air limbah. H₂O₂ ditemukan efektif dalam mendegradasi senyawa air limbah (Shokrollahzadeh *et al.*, 2021). Hasil penelitian Pieczykolan *et al.* (2012) menunjukkan bahwa lindi yang ditambahkan H₂O₂ dapat menyisihkan COD sebesar 20,7% dari konsentrasi COD awal sebesar 1900-2700 mg O₂/dm³ pada kondisi pH 4. Penelitian Ksibi (2006) juga menunjukkan bahwa bahan organik dalam air limbah mudah teroksidasi karena adanya H₂O₂ sehingga penggunaan H₂O₂ dinyatakan sangat efisien untuk penyisihan COD. Data menunjukkan konsentrasi COD dari 322 mgO₂/L menjadi 44 mgO₂/L. Selain itu, H₂O₂ sebagai oksidator memiliki kelebihan relatif murah, mudah diperoleh, mudah ditangani, larut dalam air, dan tidak menghasilkan racun atau warna dalam produk sampingan (Marhaini dan Wibowo, 2016). Oleh karena itu, H₂O₂ dapat diterapkan dalam mendegradasi lindi baik secara langsung atau dengan kombinasi Fe²⁺/H₂O₂, O₃/H₂O₂, dan UV/H₂O₂ (Kurniawan *et al.*, 2006). Ksibi (2006) juga mengemukakan bahwa H₂O₂ dapat digunakan sendiri atau dengan kombinasi seperti Fe²⁺, UV, dan ozon.

Metode oksidasi yang menggunakan H₂O₂ diharapkan memiliki performa yang baik dalam mengolah lindi. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan kajian lebih lanjut mengenai pengaruh pH, dosis H₂O₂, dan waktu reaksi terhadap oksidasi H₂O₂.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kemampuan pengolahan lindi dengan metode oksidasi yang menggunakan H₂O₂?
2. Bagaimana pengaruh pH, waktu reaksi, dan dosis H₂O₂ terhadap residu H₂O₂?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan di UPST Bantargebang.
2. Penelitian dilakukan pada April 2022 – Juni 2022.
3. Sampel lindi yang diteliti berasal dari inlet lindi IPAS 3 UPST Bantargebang.
4. Penelitian dilakukan pada sistem reaktor *batch* skala laboratorium dengan volume 1 L.
5. Variasi dalam penelitian ini adalah dosis H₂O₂, waktu reaksi, dan variasi pH
6. Parameter kualitas lindi yang diukur adalah BOD₅, COD, TSS, TN, pH, warna dan residu H₂O₂.
7. Pengujian parameter kualitas lindi dilakukan di Laboratorium Rekayasa Kualitas Air, Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Indonesia

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan kemampuan pengolahan lindi dengan metode oksidasi H_2O_2 .
2. Menganalisis pengaruh pH, waktu reaksi, dan dosis H_2O_2 terhadap residu H_2O_2 yang dihasilkan.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat digunakan sebagai bahan rekomendasi pihak UPST Bantargebang dalam teknologi pengolahan lindi dengan kombinasi metode oksidasi yang menggunakan H_2O_2 .

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kualitas, Karakteristik, dan Baku Mutu Lindi

2.1.1 Kualitas Lindi IPAS 3 UPST Bantargebang

Parameter kualitas lindi IPAS 3 diukur pada bulan Juli sampai November 2021. Uji parameter kualitas lindi IPAS 3 dilakukan oleh Laboratorium Lingkungan Hidup Daerah Provinsi DKI Jakarta. Hasil uji parameter disajikan dalam Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2.1 Kualitas Lindi pada Bulan Juli-November 2021 dan Nilai Rata-rata

Bulan	Parameter	Satuan	Influent	Effluent	Metode
Juli	BOD ₅	mg/L	71,73	29,12	SNI 6989.72.2009
	COD	mg/L	162,52	94,67	SNI 6989.73.2019
	TN	mg/L	4934,5	130,1	No 50/IKM (Chemiluminescence)
	pH	-	8,3	4,8	SNI 6989.11:2019
	TSS	mg/L	185	61	No 45/IKM (Spektrofotometri)
Agustus	BOD ₅	mg/L	292,54	37,76	SNI 6989.72.2009
	COD	mg/L	4036,83	80,78	SNI 6989.73.2019
	TN	mg/L	1903	105,6	No 50/IKM (Chemiluminescence)
	pH	-	8,2	6,3	SNI 6989.11:2019
	TSS	mg/L	46	11	No 45/IKM (Spektrofotometri)
September	BOD ₅	mg/L	161,41	40,74	SNI 6989.72.2009
	COD	mg/L	5323,12	65,1	SNI 6989.73.2019
	TN	mg/L	-	-	No 50/IKM (Chemiluminescence)
	pH	-	8,4	8,3	SNI 6989.11:2019
	TSS	mg/L	212	51	No 45/IKM (Spektrofotometri)
Oktober	BOD ₅	mg/L	254,58	75,04	SNI 6989.72.2009
	COD	mg/L	3502,82	298,95	SNI 6989.73.2019
	TN	mg/L	-	-	No 50/IKM (Chemiluminescence)
	pH	-	-	-	SNI 6989.11:2019
	TSS	mg/L	205	72	No 45/IKM (Spektrofotometri)
November	BOD ₅	mg/L	60,55	53,92	SNI 6989.72.2009
	COD	mg/L	2985,65	177,61	SNI 6989.73.2019
	TN	mg/L	-	-	No 50/IKM (Chemiluminescence)
	pH	-	-	-	SNI 6989.11:2019
	TSS	mg/L	164	49	No 45/IKM (Spektrofotometri)
Nilai rata-rata	BOD ₅	mg/L	168,16	47,32	SNI 6989.72.2009
	COD	mg/L	3202,19	143,42	SNI 6989.73.2019
	TN	mg/L	3418,75	117,85	No 50/IKM (Chemiluminescence)
	pH	-	8,30	6,47	SNI 6989.11:2019
	TSS	mg/L	162,40	48,80	No 45/IKM (Spektrofotometri)

Sumber: LLHD Prov. DKI Jakarta

Berdasarkan data tersebut, nilai perbandingan konsentrasi BOD₅/COD rata-rata di IPAS 3 bernilai 0,05. Menurut Peng (2017) dan Tejera *et al.* (2021), bahwa perbandingan nilai konsentrasi BOD₅/COD lindi kurang dari 0,1; maka lindi tersebut memiliki tingkat biodegradabilitas rendah. Kondisi terkini IPAS 3 yang menggunakan teknologi konvensional dan bersifat biologis dalam mengolah lindi, dirasa kurang tepat untuk mengolah lindi yang memiliki tingkat biodegradabilitas rendah.

2.1.2 Karakteristik Lindi dan Baku Mutu Lindi

Lindi merupakan air limbah yang kompleks dan kuat karena terdapat kandungan organik, logam berat, amonia, asam, garam terlarut, materi beracun, dan mikroorganisme yang tergolong tinggi. (Amor *et al.*, 2015; Said dan Hartaja, 2015). Karakteristik lindi bervariasi tergantung dari timbunan sampah di *landfill*, kondisi iklim, desain *landfill* dan pengoperasiannya, dan salah satu yang terpenting adalah umur *landfill* (Amor *et al.*, 2015; Tejera *et al.*, 2021).

Landfill berumur muda memiliki karakteristik lindi dengan konsentrasi BOD₅ tinggi (4.000–15.000 mg/L), COD tinggi (25.000–60.000 mg/L), konsentrasi *ammonia-nitrogen* rendah (<400 mg/L), tingkat biodegradabilitas tinggi (BOD₅/COD ≈ 0,5–1), dan pH kurang dari 6,5. *Landfill* berumur tua memiliki karakteristik lindi dengan konsentrasi COD (<4.000 mg/L) rendah, konsentrasi *ammonia-nitrogen* (400–5.000 mg/L), tingkat biodegradabilitas rendah (BOD₅/COD <0,1), dan pH lebih dari 7,5 (Amor *et al.*, 2015; Peng, 2017; Tejera *et al.*, 2021). *Landfill* berumur menengah memiliki karakteristik lindi diantara keduanya. Tabel 2.2 menyajikan klasifikasi karakteristik lindi berdasarkan umur *landfill*.

Tabel 2.2 Klasifikasi Karakteristik Lindi Berdasarkan Umur *Landfill*

Parameter	Kategori umur <i>landfill</i>		
	Muda	Menengah	Tua
Umur (tahun)	<5	5–10	>10
pH	<6,5	6,5–7	>7,5
<i>Biodegradability</i>	Tinggi	Menengah	Rendah
<i>Kjeldahl nitrogen</i> (g/L)	0,1–0,2	–	–
<i>Ammonia nitrogen</i> (mg/L)	<400	–	>400
TOC/COD	<0,3	0,3–0,5	>0,5
Logam berat (mg/L)	Rendah menuju menengah	Rendah	Rendah
BOD ₅ /COD	0,5–1	0,1–0,5	<0,1
COD (mg/L)	>10.000	4.000–10.000	<4.000

Sumber: Peng, 2017

Kadar polutan lindi yang tergolong tinggi dapat berpotensi menimbulkan bahaya bagi lingkungan dan makhluk hidup. Oleh karena itu, diperlukan aturan untuk mengatur kadar polutan lindi yang dibuang ke lingkungan sehingga tidak berpotensi menimbulkan bahaya bagi lingkungan dan makhluk hidup. Di Indonesia, terdapat aturan yang mengatur soal lindi, yaitu Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah. Dalam peraturan tersebut terdapat kadar maksimum polutan lindi yang dapat dibuang ke lingkungan yang disajikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Baku Mutu Lindi

Parameter	Kadar maksimum	
	Satuan	Nilai
pH	6-9	-
BOD ₅	150	mg/L
COD	300	mg/L
TSS	100	mg/L
N Total	60	mg/L
Merkuri	0,005	mg/L
Kadmium	0,1	mg/L

Sumber: Permen LHK No. 59 Tahun 2016

2.2 Metode Pengolahan Lindi

Pengolahan lindi dapat dilakukan secara biologis, fisik, dan kimia. Pengolahan-pengolahan tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan dalam pengaplikasiannya. Selain itu, perlu pemilihan teknologi pengolahan lindi yang sesuai dengan karakteristik lindi sehingga efektif dan efisien. Tabel 2.4 berisi ringkasan metode pengolahan berdasarkan karakteristik lindi (COD, BOD₅/COD) dan umur timbunan. Pengetahuan tentang hal tersebut dapat membantu pemilihan proses yang tepat.

Tabel 2.4 Efektivitas Pengolahan Dibandingkan dengan Karakteristik Lindi

Tipe Pengolahan	Lindi TPA Muda (BOD ₅ /COD = 0,5-1)	Penyisihan COD (%)	Lindi TPA Muda Menengah BOD ₅ /COD = 0,1-0,5)	Penyisihan COD (%)	Lindi TPA Muda Tua BOD ₅ /COD <0,1)	Penyisihan COD (%)
Fisik-kimia						
Koagulasi /flokulasi	Buruk	8-20	Cukup	39-75	Cukup	40-90
Presipitasi kimia	Buruk	27	Cukup	50	Buruk	27
Adsorpsi	Buruk	38	Cukup	69	Baik	91
Oksidasi	Buruk	30	Cukup	60	Cukup	70
Biologis						
Aerobik	Baik	75-92	Cukup	59	Buruk	20-30
Anaerobik	Baik	83	Cukup	56-72	Buruk	42-57
Proses membran						
Nanofiltrasi	Baik	60-99	Baik	60-99	Baik	60-99
Reverse osmosis	Baik	>90	Baik	>90	Baik	>90

Sumber: Renou *et al.*, 2008

Buruk: penyisihan COD < 50%

Cukup: penyisihan COD = 50%—80%

Baik: penyisihan COD > 80%

2.3 Hidrogen Peroksida (H₂O₂)

H₂O₂ merupakan salah satu oksidator kuat yang dapat mengolah polutan organik maupun anorganik (Bagastyo *et al.*, 2018). Roa-Morales *et al.* (2007) menyimpulkan bahwa metode oksidasi yang menggunakan H₂O₂ adalah metode yang menjanjikan karena tidak menggunakan bahan kimia yang sangat berbahaya, operasional yang relatif sederhana, dan relatif tidak terlalu mahal. Dalam Tabel 2.5 disajikan hubungan potensi reduksi standar dari beberapa oksidator dengan elektroda hidrogen standar.

H₂O₂ dapat bereaksi secara langsung atau setelah pertama kali terionisasi atau terdisosiasi menjadi radikal bebas. Terlepas dari kemampuan pengoksidasi yang kuat dari hidrogen peroksida, ia bertindak sebagai pereduksi ketika bereaksi dengan zat pengoksidasi yang lebih kuat seperti klorin, kalium permanganat, dan kalium dikromat. Mekanisme reaksi sangat kompleks dan mungkin dipengaruhi oleh kondisi reaksi dan jenis katalis. Stabilitas larutan hidrogen peroksida tergantung pada banyak faktor, termasuk konsentrasi, suhu, pH, konsentrasi stabilizer, dan adanya kontaminan seperti kromium, tembaga, besi, seng, dan memiliki maksimum pada pH 2,5±4,5. Jika reaktan X diasumsikan sebagai senyawa organik dalam Pers. 2.3, nilai COD meningkat dengan reduksi senyawa organik, dan menurun oleh tiga reaksi lainnya, yaitu reaksi oksidasi, penambahan molekul, dan substitusi (Pers. 2.2, Pers. 2.4, Pers. 2.5, dan Pers. 2.6) (Kang dan Hwang, 1999).

Dekomposisi



Oksidasi



Reduksi



Penambahan Molekul



Substitusi



Menurut USP Technologies (2022), hidrogen peroksida akan menurunkan polutan organik dalam air limbah. Pengurangan ini dapat dicapai dengan dua mekanisme.

a. Oksidasi langsung

Hidrogen peroksida dapat menurunkan polutan organik dengan oksidasi langsung (baik lengkap atau sebagian) dari komponen air limbah. Tingkat oksidasi bergantung pada konsentrasi H₂O₂ dan sifat limbah yang diolah. Penggunaan besi yang dikatalisis H₂O₂ (Reagen Fenton) dapat meningkatkan jumlah penurunan polutan organik yang dicapai.

b. Sumber Oksigen

Dalam air limbah yang memiliki tingkat biodegradabilitas tinggi, H₂O₂ akan mudah terurai menjadi air dan oksigen. Pelepasan oksigen akan membantu pengurangan BOD₅ dengan memungkinkan bakteri aerobik berfungsi lebih efisien. Mekanisme ini sangat penting dalam kondisi konsentrasi H₂O₂ yang terbatas karena tingginya beban polutan organik dan/atau aerasi yang tidak memadai.

Dosis H₂O₂ yang digunakan pada proses oksidasi lindi didasarkan pada rasio stoikiometri terhadap COD. Hal ini dihitung dengan asumsi oksidasi terjadi secara sempurna dari COD, dapat dilihat pada Pers. 2.7 (Kim *et al.*, 1997). Mol H₂O₂ sebanyak dua kali dari mol COD didapatkan dari Pers. 2.1.

$$1 \text{ g COD} = 1 \text{ g O}_2 = 0,03125 \text{ mol O}_2 = 0,0625 \text{ mol H}_2\text{O}_2 = 2,125 \text{ g H}_2\text{O}_2 \quad (\text{Pers. 2.7})$$

Menurut USP Technologies (2022), dekomposisi H₂O₂, dalam prosesnya dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut.

- Peningkatan temperatur.
- Peningkatan pH (pada pH>6-8).
- Peningkatan kontaminasi (logam transisi seperti tembaga, besi, dan mangan).
- Paparan sinar UV rendah.

Residu H₂O₂ yang terkandung dalam air hasil pengolahan berpotensi berbahaya bagi lingkungan saat dibuang ke badan air. Dalam studi Schmidt, *et al.* (2006), dalam jangka waktu yang pendek konsentrasi H₂O₂ di badan air yang tidak lebih dari 0,7 mg/L, tidak menjadi ancaman yang signifikan terhadap lingkungan, populasi organisme, atau kesehatan dan keselamatan masyarakat. Selain itu, oksidasi bahan organik di badan air akibat dari residu H₂O₂ dan pengenceran H₂O₂ yang terjadi akibat aliran air, juga menurunkan konsentrasi paparan sehingga dampaknya tidak bersifat akut.

Tabel 2.5 Hubungan Potensi Reduksi Standar dari Beberapa Oksidator dengan Elektroda Hidrogen Standar.

Oksidan	Reaksi reduksi	E° (V vs SHE)
Fluorine	$F_2(g) + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2HF$	3,03
	$F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-$	2,87
Hydroxyl radical	$\bullet OH + H^+ + e^- \rightarrow H_2O$	2,80
Sulfate radical anion	$SO_4^{\bullet-} + e^- \rightarrow SO_4^{2-}$	2,60
Singlet oxygen	$O_2^{\bullet-} + 2H^+ + e^- \rightarrow H_2O_2$	2,42
Ferrate ion	$FeO_4^{2-} + 8H^+ + 3e^- \rightarrow Fe^{3+} + 4H_2O$	2,20
Ozone	$O_3(g) + 2H^+ + 2e^- \rightarrow O_2(g) + H_2O$	2,07
Peroxodisulfate ion	$S_2O_8^{2-} + 2e^- \rightarrow 2SO_4^{2-}$	2,01
Hydrogen peroxide	$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow 2H_2O$	1,78
Hydroperoxy radical	$HO_2^{\bullet} + 3H^+ + 3e^- \rightarrow 2H_2O$	1,70
Permanganate ion (a)	$MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow MnO_2(s) + 2H_2O$	1,68
Permanganate ion (b)	$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$	1,51
Chlordioxide	$ClO_2 + e^- \rightarrow ClO_2^-$	1,57
Hypochlorous acid	$HOCl + H^+ + 2e^- \rightarrow Cl^- + H_2O$	1,49

Oksidan	Reaksi reduksi	E° (V vs SHE)
Hydroperoxy radical	$HO_2^* + H^+ + e^- \rightarrow H_2O_2$	1,44
Dichromate ion	$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1,36
Chlorine	$Cl_2 (g) + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	1,36
Manganese dioxide	$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	1,23
Oxygen	$O_2 (g) + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	1,23
Bromine	$Br_2 (l) + 2e^- \rightarrow 2Br^-$	1,09
Iodine	$I_2 + 2e^- \rightarrow 2I^-$	0,54

Sumber: Titchou *et al.*, 2021

2.4 Kombinasi H₂O₂ pada Mekanisme Reaksi AOPs

Berikut ini adalah mekanisme reaksi AOP yang menggunakan H₂O₂, agar terbentuk *hydroxyl radical*.

a. O₃/H₂O₂

Hydroxyl radical dapat dibentuk dengan O₃ dan H₂O₂ melalui serangkaian reaksi yang kompleks. Reaksi tersebut menghasilkan pembentukan dua radikal OH dari satu molekul H₂O₂ dan dua O₃ (Wang *et al.*, 2003).



b. H₂O₂/UV

Dalam proses oksidasi H₂O₂/UV, $\bullet OH$ radikal terbentuk oleh pemecahan hemolitik dari ikatan oksigen-oksigen H₂O₂ oleh sinar UV pada panjang gelombang (λ) 200 sampai 300 nm (Wang *et al.*, 2003).



c. H₂O₂/Fe²⁺

Reaksi pengaktifan H₂O₂ dengan kombinasi Fe²⁺ dikenal sebagai reaksi Fenton. Dalam reaksi ini, dekomposisi H₂O₂ ditingkatkan oleh Fe²⁺ kemudian $\bullet OH$ radikal terbentuk (Wang *et al.*, 2003).





Secara garis besar, proses Fenton terdiri atas 4 tahap, yaitu penyesuaian pH, reaksi oksidasi, netralisasi dan koagulasi, dan presipitasi. Berbeda dengan proses aktivasi H₂O₂ lainnya, besi hidroksida yang terendapkan harus dibuang.

Hydroxyl radical yang terbentuk akan membentuk rantai reaksi dengan senyawa organik (Pers. 2.16–Pers. 2.18) yang terdapat di dalam lindi (Roa-Morales *et al.* 2007).



Oleh karena itu, keuntungan dari penambahan H₂O₂ ke dalam lindi adalah untuk menghasilkan *hydroxyl radical* yang nantinya akan bereaksi dengan polutan organik.

2.5 Penelitian Terdahulu tentang Oksidasi yang Menggunakan H₂O₂

Penelitian terdahulu dijadikan acuan, pedoman atau sebagai pembanding dalam pelaksanaan penelitian. Akan tetapi, permasalahan yang dikemukakan penelitian terdahulu harus relevan dengan penelitian yang dilakukan sekarang. Fokus penelitian terdahulu yang dapat dijadikan acuan adalah penelitian yang berkaitan tentang pengolahan limbah cair dengan kombinasi metode elektrokoagulasi atau koagulasi dengan AOPs yang menggunakan H₂O₂ atau Fenton. Hasil penelitian terdahulu disajikan dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Data Penelitian Terdahulu tentang Oksidasi yang Menggunakan H₂O₂

Sumber (Metode)	Karakteristik lindi	Variasi	Hasil penelitian
Pieczykolan <i>et al.</i> , 2012 (Oksidasi H ₂ O ₂)	COD = 1.900-2.700 mg/L pH = 4	H ₂ O ₂ = 1 g/dm ³ t = 180 menit	Penyisihan: COD 20,9%
Pieczykolan <i>et al.</i> , 2012 (Oksidasi H ₂ O ₂)	COD = 1.900-2.700 mg/L pH = 6	H ₂ O ₂ = 1 g/dm ³ t = 180 menit	Penyisihan: COD 19,6%
Bagastyo <i>et al.</i> , 2018 (AOP)	COD = 2.333 mg/L BOD ₅ = 475 mg/L Fe ²⁺ = 387 mg/L pH = 8,14	Fe ²⁺ /H ₂ O ₂ = 1:5 pH = 3 t = 240 menit	Penyisihan: COD 97%
Lopez <i>et al.</i> , 2004 (AOP)	COD = 10.540 mg/L BOD ₅ = 2300 mg/L pH = 8,2	pH = 3 Fe ²⁺ = 275 mg/L H ₂ O ₂ = 3.300 mg/L t = 120 menit	Penyisihan: COD 60% BOD ₅ /COD = 0,5
Hermosilla <i>et al.</i> , 2009 (AOP)	COD = 837–6.119 mg/L BOD ₅ = 42,5–620 mg/L pH = 8,09–8,47	pH = 2,5 H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ = 1,5 H ₂ O ₂ = 0,075	Penyisihan: <i>Landfill</i> muda = COD 80% <i>Landfill</i> tua = COD 60–70%
Zhang <i>et al.</i> , 2006 (AOP)	COD = 8.894 mg/L pH = 6,65–6,69	pH = 2,5 H ₂ O ₂ = 0,15 M H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ = 3	Penyisihan: COD 89%
Kochany dan Lipczynska-Kochany, 2009 (AOP)	COD = 5.700 ± 300 mg/L BOD ₅ = 3.600 ± 200 mg/L	pH = 3,5 H ₂ O ₂ = 650 mg/L H ₂ O ₂ /Fe ²⁺ = 19	Penyisihan: COD 66% BOD ₅ /COD = 0,88

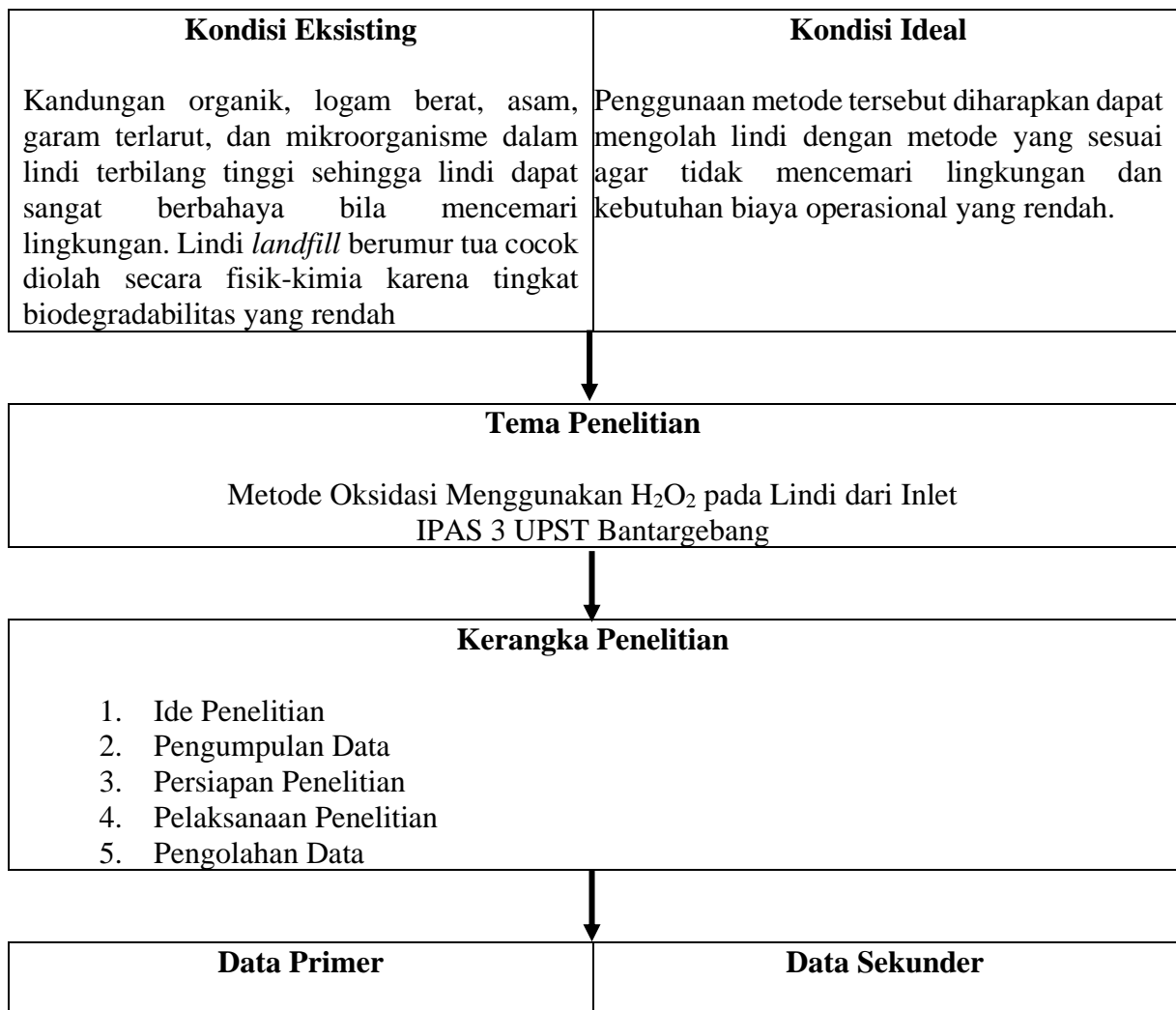
Sumber (Metode)	Karakteristik lindi	Variasi	Hasil penelitian
	pH = 7,8 ± 0,3		
Li <i>et al.</i> , 2010 (AOP)	COD = 2.000 mg/L BOD ₅ = 160 mg/L pH = 8,4	O ₃ = 1,5 gO ₃ /gCOD H ₂ O ₂ /O ₃ = 0,3 g/g	Penyisihan: COD 92% BOD ₅ /COD = 0,13
Li <i>et al.</i> , 2010 (AOP)	COD = 480 mg/L BOD ₅ = 25 mg/L pH = 7,7	O ₃ = 0,05-0,5 gO ₃ /gCOD H ₂ O ₂ /O ₃ = 0,25-1 g/g	Penyisihan: COD 40% BOD ₅ /COD = 0,13
Wang <i>et al.</i> , 2003 (AOP)	COD = 1.000-1.200 mg/L BOD ₅ = < 10 mg/L pH = 3-4	H ₂ O ₂ = 0,5 g/L UV = 15 W	Penyisihan: COD 90%

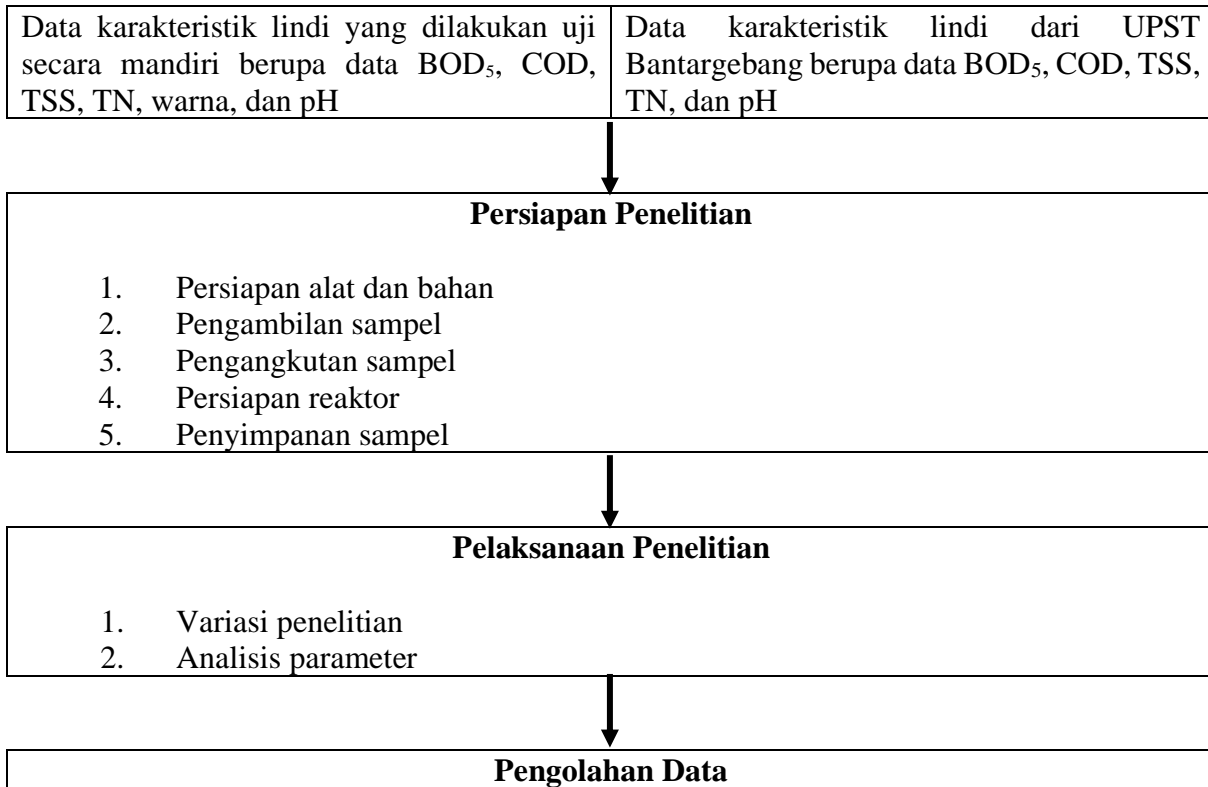
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian

Lindi terbentuk karena terjadi infiltrasi air hujan dan reaksi fisik-kimia-biologi selama infiltrasi pada timbunan sampah, maupun dari kadar air yang terkandung dalam sampah itu sendiri (Said dan Hartaja, 2015; Tejera *et al.*, 2021). Kandungan organik, logam berat, asam, garam terlarut, dan mikroorganisme dalam lindi terbilang tinggi sehingga lindi dapat sangat berbahaya bila mencemari lingkungan (Said dan Hartaja, 2015). Lindi *landfill* berumur tua cocok diolah secara fisik-kimia karena tingkat biodegradabilitas yang rendah (Tejera *et al.*, 2021).

Berdasarkan masalah tersebut, membuat munculnya ide penelitian tentang pengolahan lindi dengan kombinasi metode oksidasi yang menggunakan H₂O₂. Penggunaan metode tersebut diharapkan dapat mengolah lindi agar tidak mencemari lingkungan dan kebutuhan biaya operasional yang rendah.





Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.2 Pengumpulan Data

Data primer dan data sekunder digunakan sebagai pendukung penelitian dan pertimbangan dalam memutuskan langkah yang akan diambil. Data-data tersebut juga digunakan untuk mengetahui performa penyisihan polutan. Data primer dan sekunder yang diperlukan berupa data parameter kualitas air yaitu BOD₅, COD, TSS, TN, warna dan pH.

3.3 Persiapan Penelitian

3.3.1 Persiapan Alat dan Bahan

Persiapan alat dan bahan bertujuan untuk menunjang kegiatan penelitian agar penelitian yang dilakukan berhasil. Pada tahap ini dilakukan persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan selama penelitian, baik penelitian pendahuluan, maupun penelitian utama. Alat yang dibutuhkan selama penelitian adalah spektrofotometer, *magnetic stirrer*, pH meter, *glassware*, dan *stopwatch*. Bahan yang dibutuhkan selama penelitian adalah sampel dari inlet IPAS 3 UPST Bantargebang, H₂O₂ 30% (w/w) *pro analysis grade*, H₂SO₄ 95%–97% (w/w) *pro analysis grade* dan NaOH *pro analysis grade* untuk pengaturan pH, dan aquades. Alat dan bahan yang digunakan dalam uji parameter air dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.1 Alat dan Bahan Uji Parameter Air

Pengujian	Bahan	Alat
BOD ₅	Buffer Fosfat	<i>Magnetic stirrer</i>

Pengujian	Bahan	Alat
	MgSO ₄ FeCl ₃ CaCl ₂ MnSO ₄ Alkali Iodida Azida H ₂ SO ₄ Na ₂ S ₂ O ₃ Amilum	Batang pengaduk Erlenmeyer Buret Inkubator
COD	COD <i>digestion vial</i>	Spektrofotometer Reaktor COD
TSS	Kertas saring	Pompa vakum Oven Neraca analitik Desikator
TKN	H ₂ SO ₄ H ₂ O ₂ <i>Mineral stabilizer</i> <i>Polyvinyl alcohol</i> <i>Nessler reagent</i> KOH	<i>Hot plate</i> Rangkaian <i>digestion</i> Spektrofotometer
Nitrat	<i>NitraVer Reagent Powder</i>	Spektrofotometer
Nitrit	<i>NitriVer Reagent Powder</i>	Spektrofotometer
Residu H ₂ O ₂	H ₂ SO ₄ NH ₄ VO ₃	Spektrofotometer
Warna	Kertas saring	Spektrofotometer
pH		pH meter

3.3.2 Pengambilan dan Penyimpanan Sampel

a. Pengambilan Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari inlet IPAS 3 UPST Bantargebang. Sampel diambil sebanyak 20 L yang dimasukkan ke dalam wadah jerigen berkapasitas 20 L. Jerigen terbuat dari plastik yang tertutup rapat untuk menghindari kontaminasi lingkungan dan jerigen dibungkus dengan plastik hitam agar cahaya tidak masuk yang dapat mengubah karakteristik dan kualitas sampel sehingga dapat mengganggu analisis.

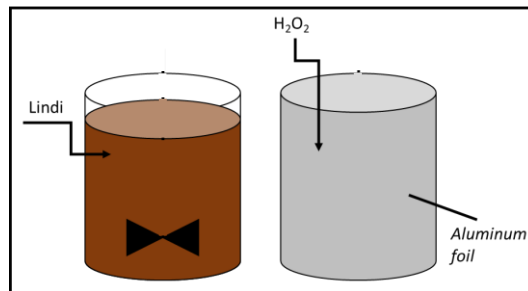
b. Pengangkutan Sampel

Sampel dibawa dari IPAS 3 UPST Bantargebang menuju Laboratorium Rekayasa Kualitas Air Universitas Indonesia dengan durasi perjalanan $\pm 1,5$ jam. Selama perjalanan, sampel disimpan di dalam *ice box* untuk menjaga kualitas sampel.

c. Penyimpanan Sampel

Jerigen yang tertutup rapat berisi sampel inlet IPAS 3 UPST Bantargebang disimpan di dalam kulkas yang nantinya sampel tersebut digunakan untuk eksperimen dan karakterisasi awal lindi.

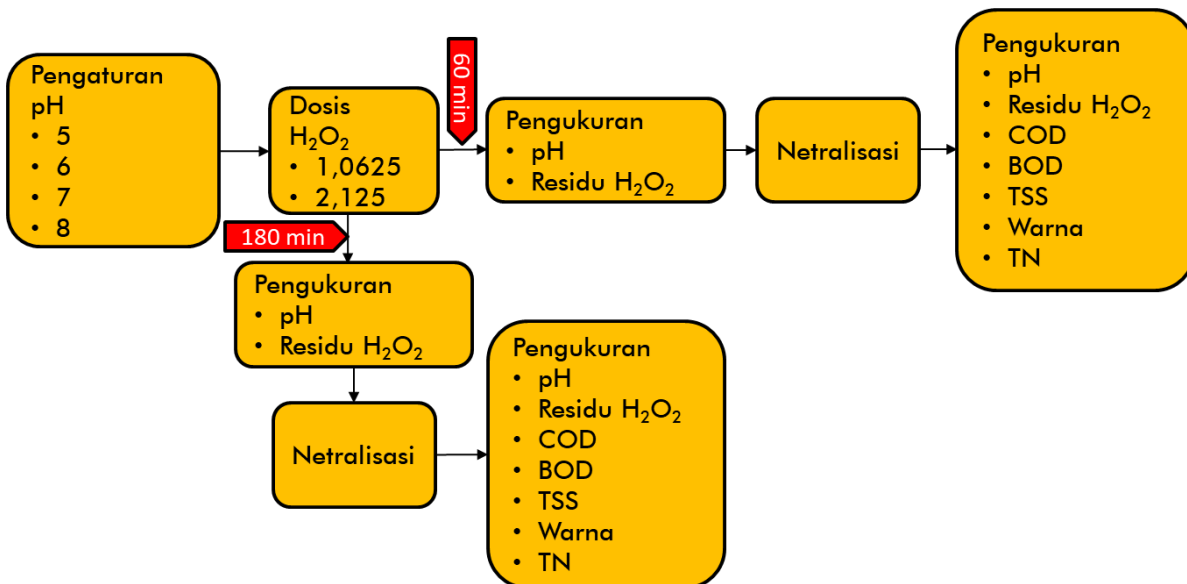
3.3.3 Persiapan Reaktor



Gambar 3.2 Reaktor Penelitian

Penelitian dilakukan dengan sistem reaktor *batch*. Reaktor menggunakan *beaker glass* berkapasitas 1 L. Reaktor dioperasikan dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan 200 rpm selama 60 dan 180 menit (Pieczykolan, *et al.* 2021). Proses oksidasi H_2O_2 harus berlangsung tanpa adanya pengaruh cahaya karena dikhawatirkan adanya cahaya UV yang dapat memengaruhi oksidasi, untuk itu reaktor diselimuti oleh *aluminum foil*.

3.4 Pelaksanaan Penelitian



Gambar 3.3 Bagan Alir Penelitian

Pertama, pH awal lindi diatur menjadi pH 5, 6, dan 7 menggunakan H_2SO_4 8M. Untuk pH 8 merupakan pH asli lindi. Kemudian, dimasukkan dosis H_2O_2 berdasarkan rasio konsentrasi H_2O_2 /COD sama dengan 1,0625 dan 2,125. Selanjutnya, dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit dan 180 menit. Ketika pada waktu reaksi yang ditentukan sudah selesai, segera dilakukan uji H_2O_2 residu. Sampel hasil eksperimen yang telah diukur residu H_2O_2 , dinetralkan ke pH 8 menggunakan NaOH 8 M. Ketika pH sampel hasil eksperimen sudah mencapai nilai 8, sampel tersebut dapat ditampung dalam botol HDPE berukuran 1 L. Selanjutnya, botol berisi sampel tersebut disimpan di dalam kulkas. Sampel

tersebut nantinya digunakan untuk analisis parameter air (BOD₅, COD, TSS, TN, warna, residu H₂O₂).

3.4.1 Variasi Penelitian

Variasi yang dilakukan dalam penelitian adalah variasi pH, dosis H₂O₂, dan durasi pengadukan. Variasi pH yang diterapkan adalah pH 5, pH 6, pH 7, dan pH 8. Variasi tersebut ditujukan untuk mengetahui performa H₂O₂ pada lindi yang memiliki nilai-nilai pH tersebut.

Variasi durasi pengadukan yang diterapkan adalah 60 menit dan 180 menit. Variasi tersebut ditujukan untuk mengetahui pengaruh durasi pengadukan terhadap penyisihan polutan lindi dan banyaknya konsentrasi H₂O₂ yang tersisa dalam lindi. Kecepatan pengadukan yang diterapkan adalah 200 rpm.

Penentuan dosis H₂O₂ didasarkan pada rasio stoikiometri terhadap COD (Pers. 2.1; Pers. 2.7). Ini dihitung dengan asumsi oksidasi lengkap COD oleh H₂O₂ (Kim *et al.*, 1997). Rasio konsentrasi H₂O₂/COD yang diterapkan adalah 1,0625 dan 2,125. Variasi tersebut ditujukan untuk mengetahui pengaruh dosis H₂O₂ terhadap penyisihan polutan lindi. Perhitungan penambahan dosis H₂O₂ dapat dilihat pada Lampiran B.

Tabel 3.2 Variasi Penelitian

pH (variasi 1)	Waktu (variasi 2)	Dosis (variasi 3)	Banyaknya variasi
8	1	1,0625	1
		2,125	2
	3	1,0625	3
		2,125	4
7	1	1,0625	5
		2,125	6
	3	1,0625	7
		2,125	8
6	1	1,0625	9
		2,125	10
	3	1,0625	11
		2,125	12
5	1	1,0625	13
		2,125	14
	3	1,0625	15
		2,125	16

3.4.2 Analisis Parameter

Analisis parameter dilakukan pada lindi hasil pengolahan dengan metode oksidasi H₂O₂ setelah dilakukan proses netralisasi. Analisis parameter antara lain BOD₅, COD, TSS, TN, pH, dan residu H₂O₂. Metode analisis parameter pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Analisis karakteristik lindi akhir bertujuan untuk menemukan nilai tingkat penyisihan pada setiap variasi yang dilakukan. Prosedur analisis karakteristik lindi dapat dilihat pada Lampiran A.

Tabel 3.3 Metode Analisis Parameter

Parameter	Satuan	Metode	Sumber
BOD ₅	mg/L	<i>Winkler</i>	SNI 06-2503-1991
COD	mg/L	Spektrofotometri	Hach 435
TSS	mg/L	Gravimetri	SNI 6989.3:2019
TN	mg/L	TKN: spektrofotometri, Nitrat: spektrofotometri, Nitrit: spektrofotometri	Hach 399, Hach 355, Hach 373
pH	-	Potensiometer	SNI 06.6989.11-2004
Warna	Pt-Co	Spektrofotometri	Hach 120
Residu H ₂ O ₂	mg/L	Metavanadate	Nogueira et al., 2005

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Lindi Inlet IPAS 3 UPST Bantargebang

Sampel lindi inlet IPAS 3 UPST Bantargebang diambil pada tanggal 5 Mei 2022 pukul 09.00 WIB, memiliki karakteristik yang dapat dilihat pada Tabel 4.1. Berdasarkan hasil pengukuran, perbandingan nilai BOD₅/COD bernilai 0,096. Dalam penelitian Tejera *et al.* (2021), karakteristik lindi tempat pembuangan akhir (TPA) yang terletak di Golmayo, Spanyol memiliki nilai BOD₅, COD, TN, dan warna secara berturut-turut adalah 58±10 mg O₂/L, 4.897±650 mg O₂/L, 1.734±50 mg N/L, dan 18.800±1.082 Pt/L. Lindi tersebut memiliki rasio BOD₅/COD = 0,01. Dalam penelitian Tripathy *et al.* (2019), karakteristik lindi TPA Perungudi yang terletak di Chennai, India memiliki nilai BOD₅, COD, TSS, dan TN secara berturut-turut adalah 80 mg/L, 2.240 mg/L, 900 mg/L, dan 2.380. Lindi tersebut memiliki BOD₅/COD = 0,036. Berdasarkan Peng (2017) dan Tejera *et al.* (2021), bahwa perbandingan nilai konsentrasi BOD₅/COD lindi ≤ 0,1 menandakan bahwa lindi memiliki tingkat biodegradabilitas rendah sehingga cocok diolah secara fisik-kimia. Pengolahan secara fisik-kimia seperti koagulasi/flokulasi, presipitasi kimia, teknologi membran, atau proses oksidasi lanjut (Tejera *et al.*, 2021).

Jika dibandingkan dengan data sekunder (Tabel 2.1), karakteristik lindi data primer memiliki nilai konsentrasi polutan yang lebih besar karena pada bulan Mei 2022 Indonesia sudah memasuki musim kemarau (BMKG, 2022), sedangkan data sekunder memiliki nilai konsentrasi polutan yang lebih kecil karena pada bulan Juli—November 2021 sedang berada di musim pancaroba dan hujan (BMKG, 2021). Namun, rasio konsentrasi BOD₅/COD lindi data primer (BOD₅/COD = 0,096) dan sekunder (BOD₅/COD = 0,05) memiliki rasio konsentrasi BOD₅/COD ≤ 0,1.

Dosis penambahan H₂O₂ dalam penelitian ini berdasarkan rasio konsentrasi H₂O₂/COD dengan nilai sebesar 1,0625 dan 2,125. Berdasarkan Tabel 4.1 konsentrasi COD bernilai 7.370 mg/L, maka dosis H₂O₂ yang ditambahkan sebesar 7.671 mg/L (1,0625) dan 15.342 mg/L (2,125).

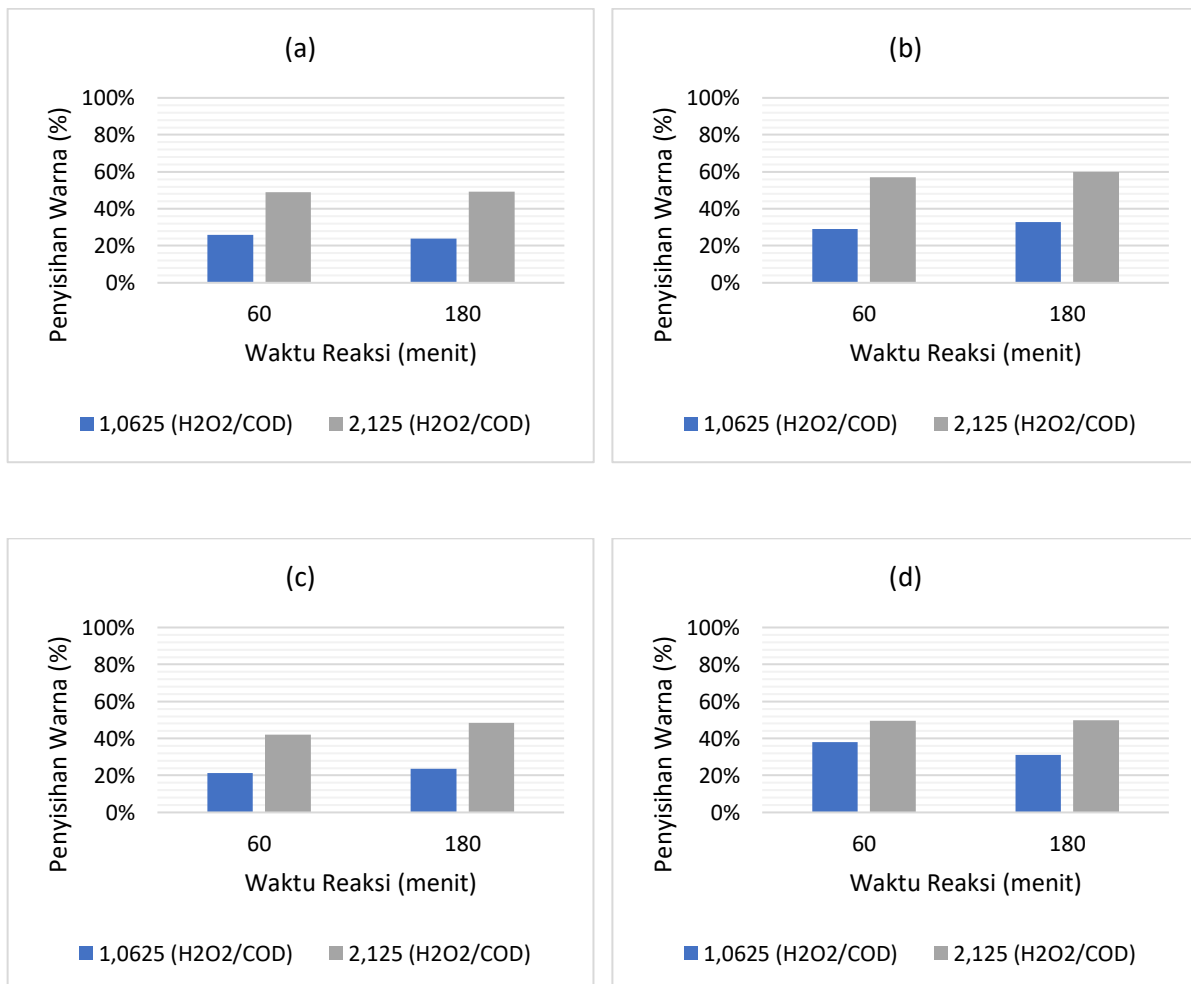
Tabel 4.1 Karakteristik Lindi

Parameter	Satuan	Nilai
BOD ₅	mg/L	709
COD	mg/L	7370
TSS	mg/L	126
TN	mg/L	23.374
Warna	Pt-Co	5700
pH	-	8,1

4.2 Pengaruh Oksidasi H₂O₂ terhadap Parameter Air

4.2.1 Pengaruh Oksidasi H₂O₂ terhadap Penyisihan Warna dan TSS

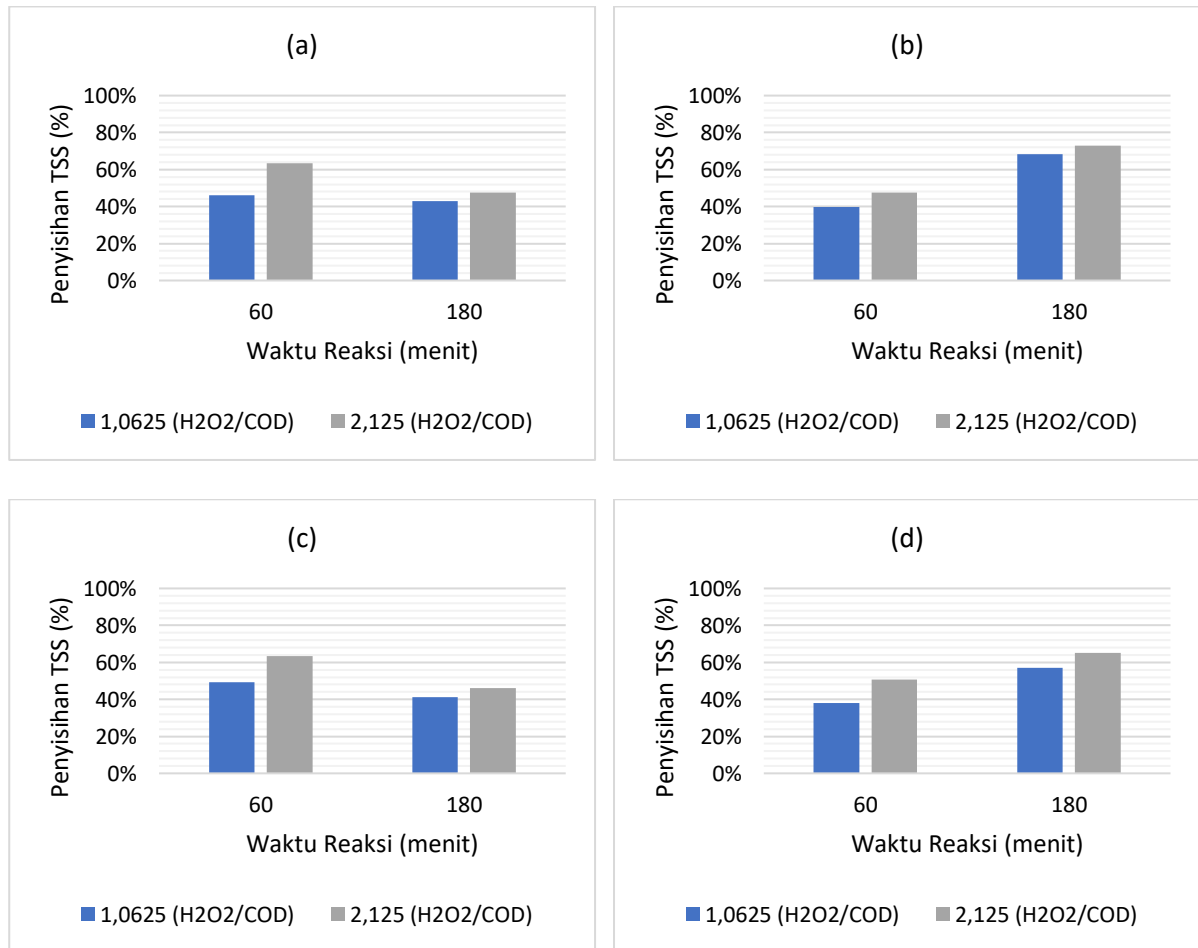
TSS adalah parameter untuk mengukur partikel tersuspensi. Padatan tersuspensi dapat berdampak pada kekeruhan dan kecerahan air (Tomperi *et al.*, 2020). Partikel tersebut terdiri dari komponen biotik dan abiotik (Buana *et al.*, 2021). Warna dapat disebabkan oleh turbiditas dan padatan terendapkan. Oleh karena itu, penyisihan TSS juga mempengaruhi penyisihan warna (Abdullah *et al.*, 2014). Pengaruh oksidasi H₂O₂ terhadap penyisihan warna dan TSS dapat dilihat secara berturut-turut pada Gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Pengaruh Dosis H₂O₂ dan Waktu reaksi terhadap Penyisihan Warna pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5

Berdasarkan Gambar 4.1, dari keseluruhan pH awal lindi, menunjukkan bahwa tingkat penyisihan warna pada rasio konsentrasi H₂O₂/COD 1,0625 memiliki tingkat penyisihan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan rasio konsentrasi H₂O₂/COD 2,125. Tingkat penyisihan warna pada rasio konsentrasi H₂O₂/COD 1,0625 memiliki nilai berkisar antara 21—38%, sedangkan pada rasio konsentrasi H₂O₂/COD 2,125 memiliki nilai berkisar 42—60%. Waktu reaksi yang lebih lama tidak memiliki dampak yang signifikan terhadap tingkat penyisihan warna, dengan selisih nilai tingkat penyisihan selama 180 menit dan 60 menit senilai 0—7%.

Tingkat penyisihan warna terkecil senilai 21%, dari 5.700 Pt-Co menjadi 4.480 Pt-Co, dengan waktu reaksi 60 menit, rasio konsentrasi H_2O_2/COD 1,0625, dan lindi pH 6. Tingkat penyisihan warna terbesar senilai 60%, dari 5.700 Pt-Co menjadi 2.290 Pt-Co, dengan waktu reaksi 180 menit, rasio konsentrasi H_2O_2/COD 2,125, dan lindi pH 7. Dalam penelitian Thasilu dan Kharthikeyan (2016) pada air stok warna, penambahan 30 g/L H_2O_2 dapat menyisihkan warna sebesar 22%.



Gambar 4.2 Pengaruh Dosis H_2O_2 dan Waktu reaksi terhadap Penyisihan TSS pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5

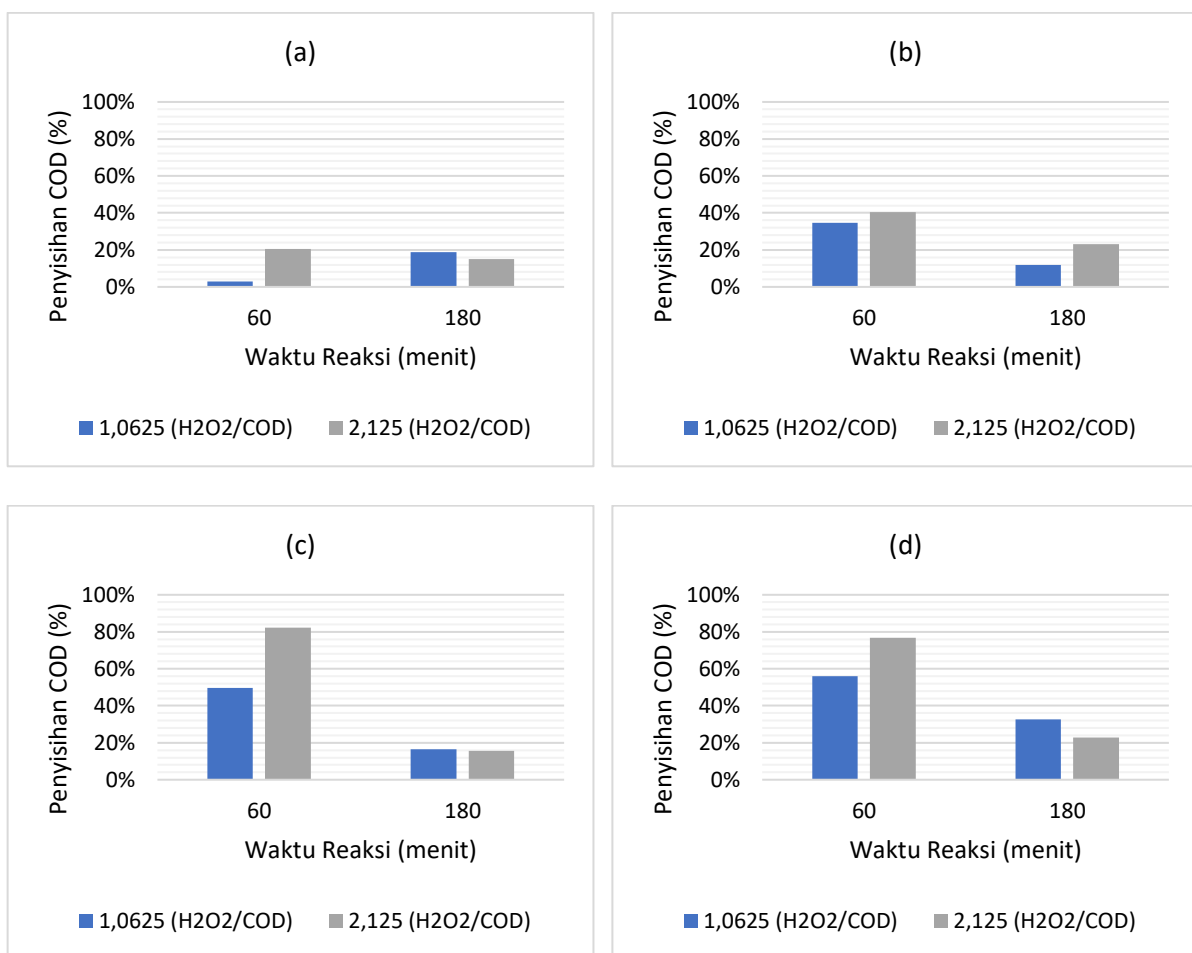
Berdasarkan Gambar 4.2, dari tiap-tiap pH awal lindi, menunjukkan bahwa tingkat penyisihan TSS pada rasio konsentrasi H_2O_2/COD 1,0625 memiliki kecenderungan tingkat penyisihan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan rasio konsentrasi H_2O_2/COD 2,125. Tingkat penyisihan TSS pada rasio konsentrasi H_2O_2/COD 1,0625 memiliki nilai berkisar antara 38—68%, sedangkan pada rasio konsentrasi H_2O_2/COD 2,125 memiliki nilai berkisar 46—73%. Waktu reaksi yang lebih lama memiliki kecenderungan meningkatkan penyisihan TSS pada lindi pH 5 dan pH 7, sedangkan pada lindi pH 6 dan 8 memiliki kecenderungan sebaliknya.

Tingkat penyisihan TSS terkecil senilai 38%, dari 126 mg/L menjadi 78 mg/L, pada waktu reaksi 60 menit, rasio konsentrasi H_2O_2/COD 1,0625, dan lindi pH 5. Tingkat penyisihan TSS terbesar senilai 73%, dari 126 mg/L menjadi 34 mg/L, dengan waktu reaksi 180 menit,

rasio konsentrasi H_2O_2/COD 2,125, dan lindi pH 7. Dalam penelitian Adeyinka dan Rukeh (1999) pada air limbah industri petrokimia, perlakuan dengan penambahan 0,5% H_2O_2 menunjukkan penurunan konsentrasi TSS dari 48 mg/L menjadi 10 mg/L (79,2%).

4.2.2 Pengaruh Oksidasi H_2O_2 terhadap Penyisihan COD dan BOD_5

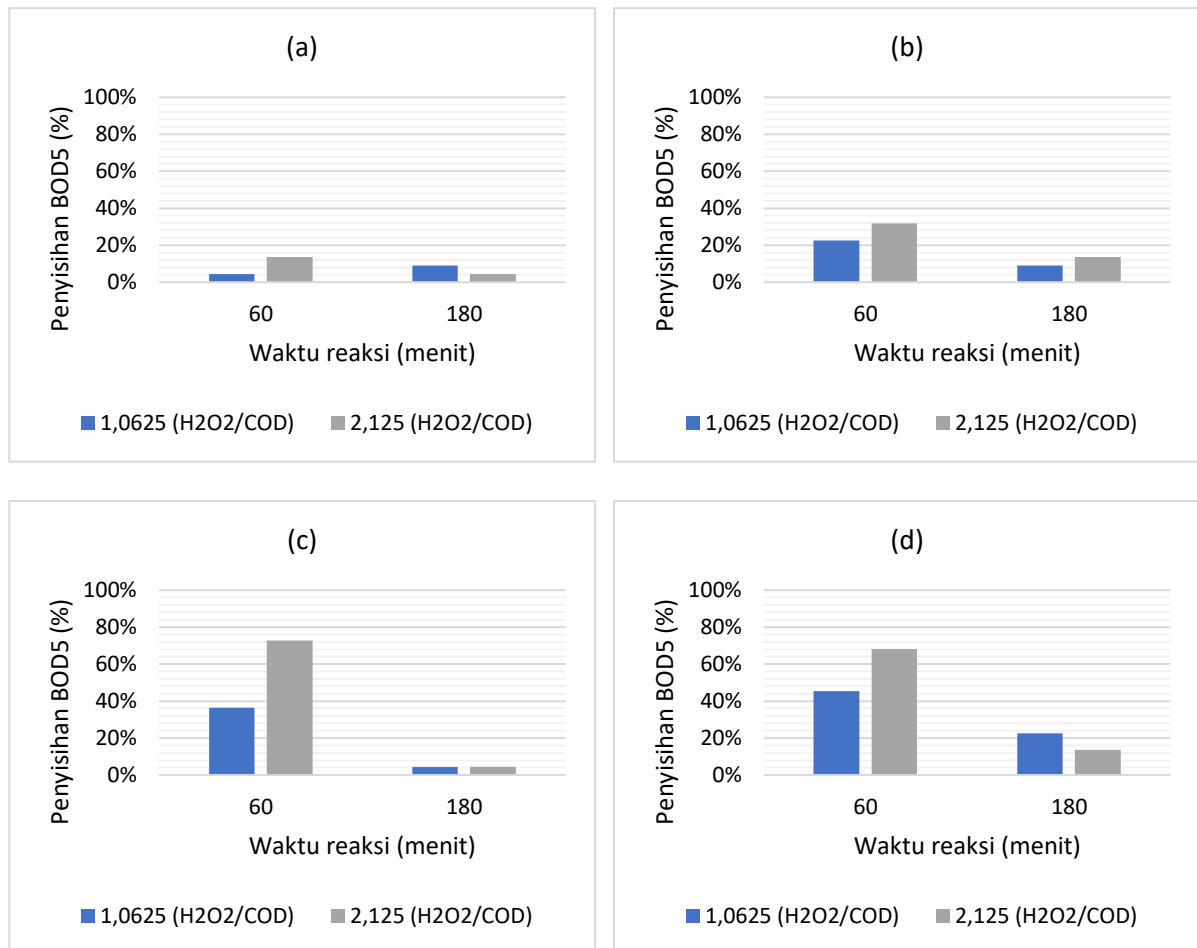
BOD merupakan suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengurangi bahan organik dalam kondisi aerobik, sedangkan COD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Atima, 2015; Sara *et al.*, 2018). BOD tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya, melainkan untuk mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mendekomposisi bahan organik yang terdapat di badan air (Tarpepa, 2021).



Gambar 4.3 Pengaruh Dosis H_2O_2 dan Waktu reaksi terhadap Penyisihan COD pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5

Berdasarkan Gambar 4.3 dan 4.4, dari keseluruhan pH awal lindi yang waktu reaksinya selama 60 menit menunjukkan bahwa tingkat penyisihan BOD_5 dan COD pada rasio konsentrasi H_2O_2/COD 1,0625 memiliki tingkat penyisihan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan rasio konsentrasi H_2O_2/COD 2,125. Sebaliknya, pada lindi pH 8, pH 6,

dan pH 5 yang waktu reaksinya selama 180 menit, menunjukkan bahwa tingkat penyisihan BOD₅ dan COD pada rasio H₂O₂/COD 1,0625 memiliki tingkat penyisihan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan rasio konsentrasi H₂O₂/COD 2,125. Kecuali pada lindi pH 7 yang waktu reaksinya selama 180 menit, menunjukkan hasil yang berlawanan. Berdasarkan Gambar 4.2 dan 4.3 juga, dari keseluruhan pH awal lindi, pada rasio konsentrasi H₂O₂/COD 2,125 menunjukkan penurunan tingkat penyisihan seiring dengan bertambahnya waktu reaksi. Hal tersebut juga terjadi pada rasio konsentrasi H₂O₂/COD 1,0625. Kecuali pada lindi pH 8.

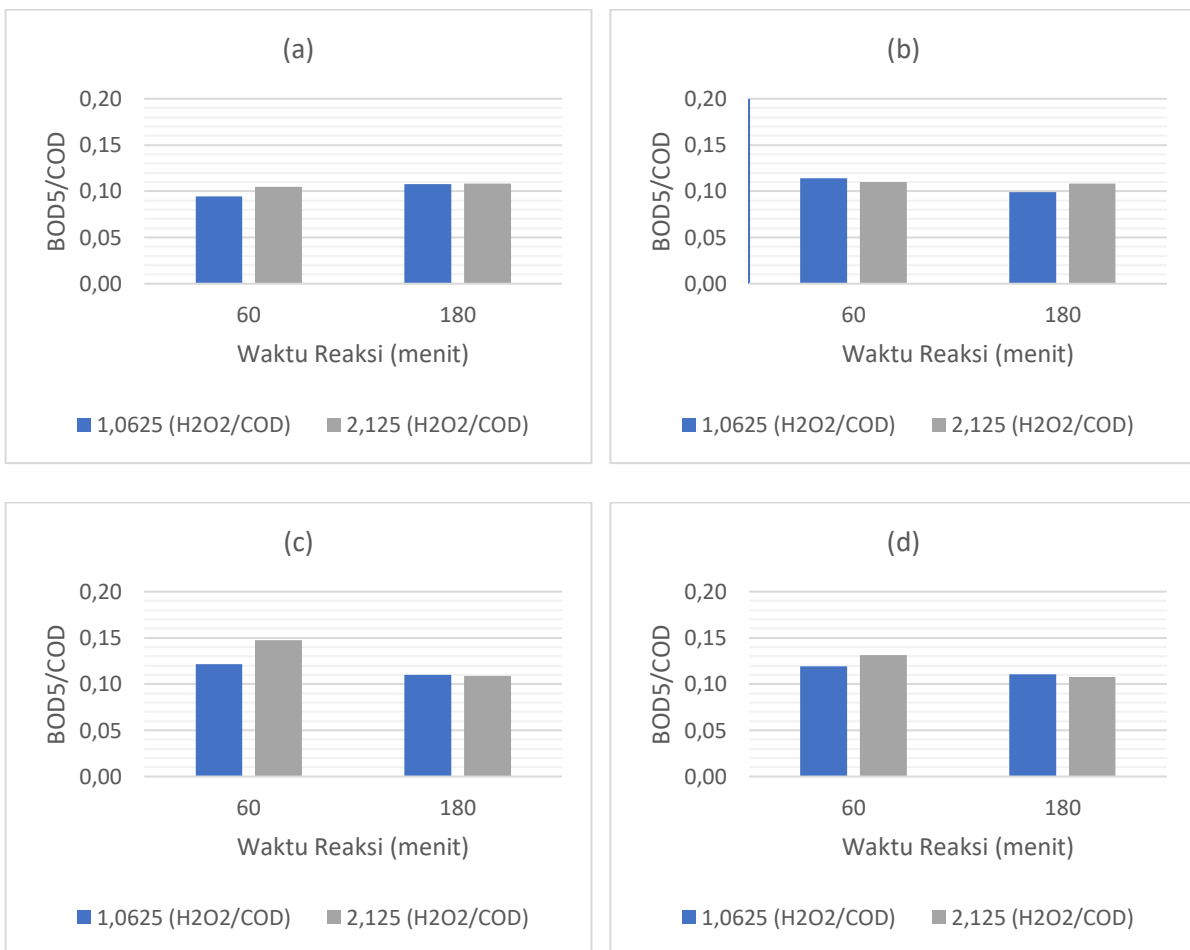


Gambar 4.4 Pengaruh Dosis H₂O₂ dan Waktu reaksi terhadap Penyisihan BOD₅ pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5

Tingkat penyisihan COD terkecil senilai 3%, dari 7370 mg/L menjadi 7158 mg/L, dengan waktu reaksi 60 menit, rasio konsentrasi H₂O₂/COD 1,0625, dan lindi pH 8. Tingkat penyisihan COD terbesar senilai 82%, dari 7370 mg/L menjadi 1313 mg/L, dengan waktu reaksi 60 menit, rasio konsentrasi H₂O₂/COD 2,125, dan lindi pH 6. Dalam penelitian Pieczykolan *et al.* (2012), penambahan H₂O₂ pada lindi mempengaruhi penurunan konsentrasi COD dari 1900—2700 mg/L turun sebesar 20,9% pada lindi pH 4, dosis H₂O₂ 1 g/dm³, dan waktu reaksi 3 jam. Penelitian lain yang dilakukan Adeyinka dan Rukeh (1999) pada air limbah industri petrokimia, perlakuan dengan penambahan 0,5% H₂O₂ menunjukkan penurunan konsentrasi COD dari 96 mg/L menjadi 53 mg/L (44,8%). Ksibi (2006) juga melakukan penelitian penambahan H₂O₂ pada air limbah domestik, menyisihkan COD dari 322 mg O₂/L menjadi 44 mg O₂/L pada air limbah domestik pH 7,41 dan direaksikan selama 180 menit. Renou *et al.* (2008) menyatakan

bahwa metode oksidasi memiliki efektivitas yang cukup untuk menyisihkan COD dalam lindi *landfill* berumur tua. Efektivitas yang cukup memiliki tingkat penyisihan COD antara 50%-80%. Hasil penelitian yang didapatkan memiliki rentang tingkat penyisihan COD sebesar 3%-82%.

Tingkat penyisihan BOD₅ terkecil senilai 5%, dari 709 mg/L menjadi 676 mg/L. Tingkat penyisihan BOD₅ terbesar senilai 73%, dari 709 mg/L menjadi 193 mg/L, dengan waktu reaksi 60 menit, rasio konsentrasi H₂O₂/COD 2,125, dan lindi pH 6. Dalam penelitian Józwiakowski *et al.* (2017) pada air limbah domestik, penambahan H₂O₂ dapat meningkatkan penyisihan BOD₅ dengan kadar oksigen dalam air limbah 0—10%, menyisihkan BOD₅ dari 47,8 mg/L menjadi 24,1 mg/L.



Gambar 4.5 Pengaruh Dosis H₂O₂ dan Waktu reaksi terhadap Rasio BOD₅/COD pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5

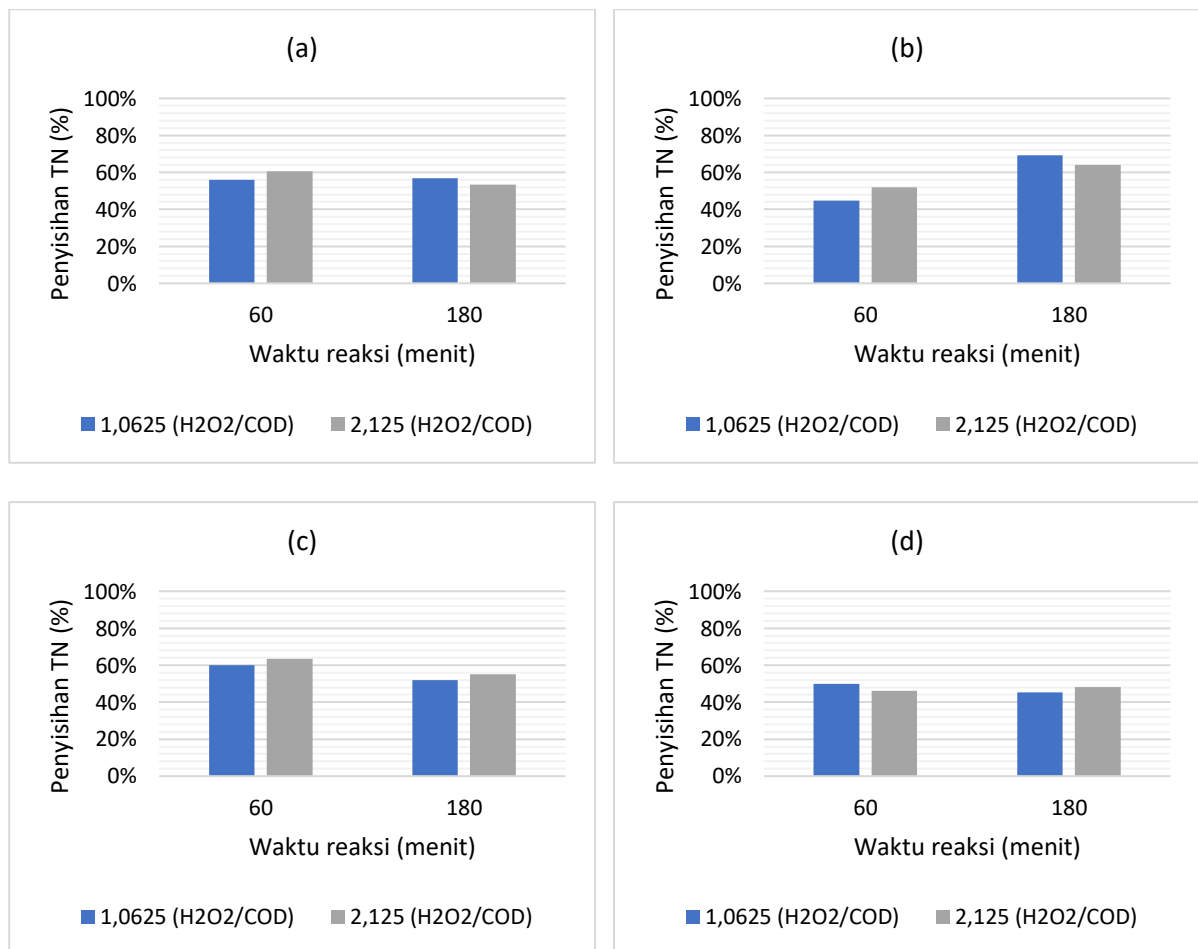
Berdasarkan Gambar 4.5 bahwa oksidasi menggunakan H₂O₂ dapat memecah atau mengatur ulang struktur molekul bahan organik dan dapat mengubah bahan organik yang susah terurai menjadi bentuk yang lebih mudah terurai secara biologis. Hal tersebut sangat penting jika akan menerapkan pengolahan biologis setelah dilakukan proses oksidasi (De Morais dan Zamora, 2005).

Rasio BOD₅/COD awal lindi adalah 0,096, yang menunjukkan bahwa lindi tersebut memiliki biodegradabilitas yang rendah. Rasio BOD₅/COD limbah yang diolah dengan waktu

reaksi 60 menit, rasio konsentrasi H_2O_2/COD 2,125, dan lindi pH 6, meningkat menjadi 0,15 yang menunjukkan bahwa limbah tersebut sudah dapat terurai secara hayati. Hidrogen peroksida dapat secara efektif meningkatkan biodegradabilitas karena intermediet, seperti asam karboksilat rantai pendek yang dihasilkan dari rantai alifatik bercabang dalam oksidasi hidrogen peroksida, mudah didegradasi oleh mikroorganismenya. Peningkatan rasio BOD_5/COD yang cukup besar juga disebabkan oleh transformasi hidrogen peroksida dari zat mineral yang ada dalam limbah seperti sulfida, sulfit, dan tiosulfat menjadi sulfat yang tidak berkontribusi dalam BOD_5/COD (Ksibi, 2006).

4.2.3 Pengaruh Oksidasi H_2O_2 terhadap Penyisihan TN

TN dalam badan air sangat berpengaruh terhadap kualitas suatu badan air. TN terdiri dari Amonium (NH_3), Nitrat (NO_3) dan Nitrit (NO_2) merupakan hasil siklus nitrogen yang terjadi. Siklus nitrogen mengonsumsi paling banyak oksigen terlarut dibandingkan dengan reaksi biokimia lainnya pada air (Aswadi, 2006).



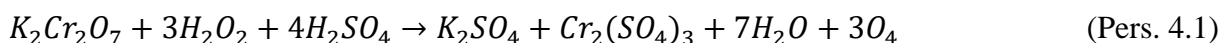
Gambar 4.6 Pengaruh Dosis H_2O_2 dan Waktu reaksi terhadap Penyisihan TN pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5

Berdasarkan Gambar 4.6, tingkat penyisihan TN terkecil senilai 45%, dari 23.374 mg/L menjadi 12.895 mg/L dan 12.785 mg/L, dengan masing-masing waktu reaksi 60 menit dan 180

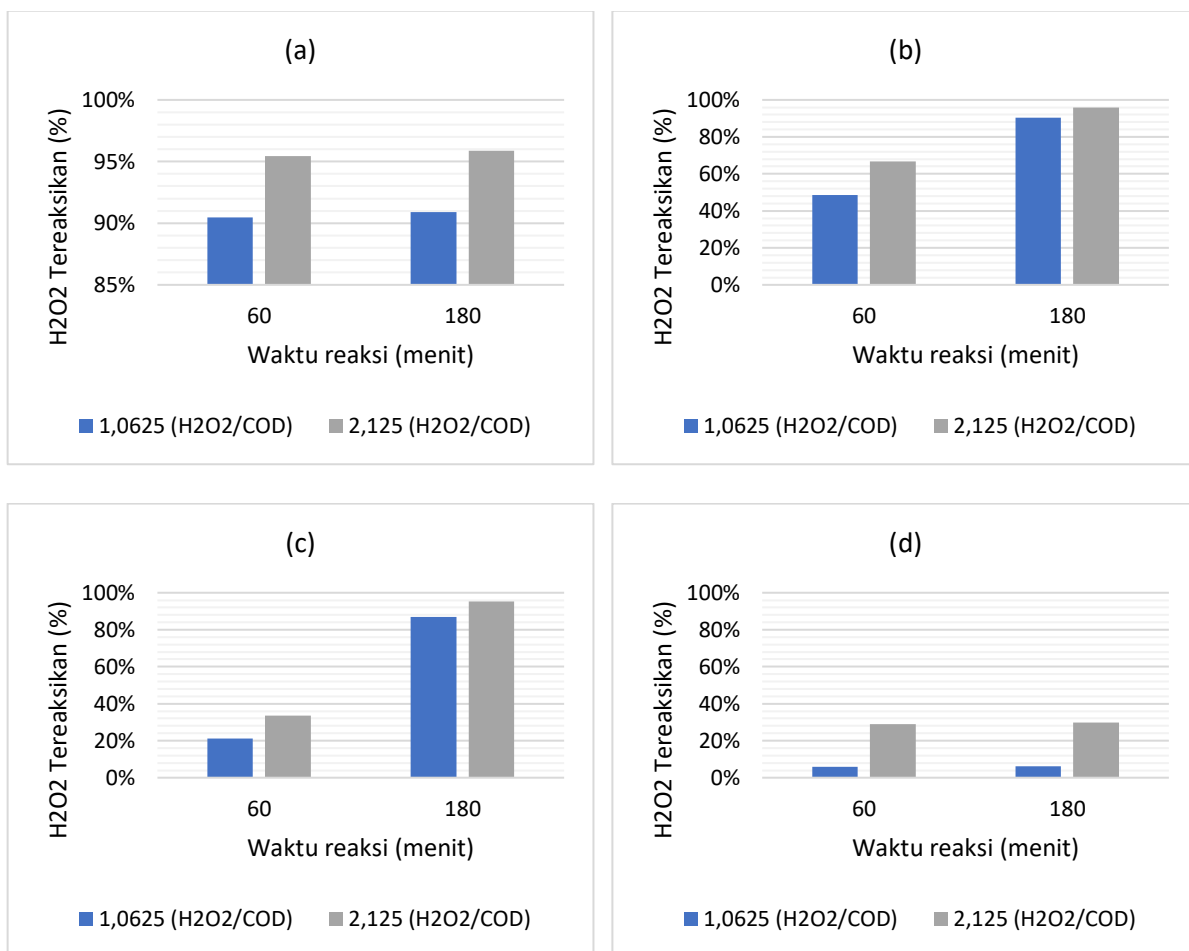
menit, rasio konsentrasi H_2O_2/COD 1,0625, dan lindi pH 7 dan pH 5. Tingkat penyisihan TN terbesar senilai 69%, dari 23.374 mg/L menjadi 7.177 mg/L, dengan waktu reaksi 180 menit, rasio konsentrasi H_2O_2/COD 1,0625 dan lindi pH 7. Dalam penelitian Józwiakowski *et al.* (2017) pada air limbah domestik, penambahan H_2O_2 dapat meningkatkan penyisihan TN dengan kadar oksigen dalam air limbah 30—40%, menyisihkan TN dari 134 mg/L menjadi 117 mg/L (13%).

4.2.4 Pengaruh Oksidasi H_2O_2 terhadap Residu H_2O_2

Konsentrasi residu H_2O_2 dalam lindi dapat meningkatkan konsentrasi BOD_5 dan COD. Peningkatan nilai COD tersebut dikarenakan H_2O_2 dapat mereduksi $K_2Cr_2O_7$ (Pers. 4.1) sehingga mengganggu analisis COD. $K_2Cr_2O_7$ sendiri merupakan oksidan yang digunakan dalam pengukuran COD dengan metode refluks dikromat (Kang dan Hwang, 1999).



Selain itu, konsentrasi residu H_2O_2 yang tinggi dalam lindi hasil pengolahan dapat menandakan bahwa oksidasi H_2O_2 dalam mereduksi polutan tidak efektif.



Gambar 4.7 Pengaruh Dosis H_2O_2 dan Waktu Reaksi terhadap H_2O_2 yang Tereaksikan pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5

Berdasarkan Gambar 4.7, dari keseluruhan pH awal lindi dan waktu reaksi menunjukkan bahwa H_2O_2 yang tereaksikan dengan rasio konsentrasi $\text{H}_2\text{O}_2/\text{COD}$ 1,0625 memiliki H_2O_2 yang tereaksikan lebih rendah jika dibandingkan dengan rasio konsentrasi $\text{H}_2\text{O}_2/\text{COD}$ 2,125. Peningkatan waktu reaksi diiringi dengan peningkatan H_2O_2 yang tereaksikan. Hal tersebut terjadi pada keseluruhan pH awal lindi dan rasio konsentrasi $\text{H}_2\text{O}_2/\text{COD}$. Akan tetapi, pada lindi pH 5 bahwa menunjukkan peningkatan H_2O_2 yang tereaksikan tidak signifikan terhadap peningkatan waktu reaksi.

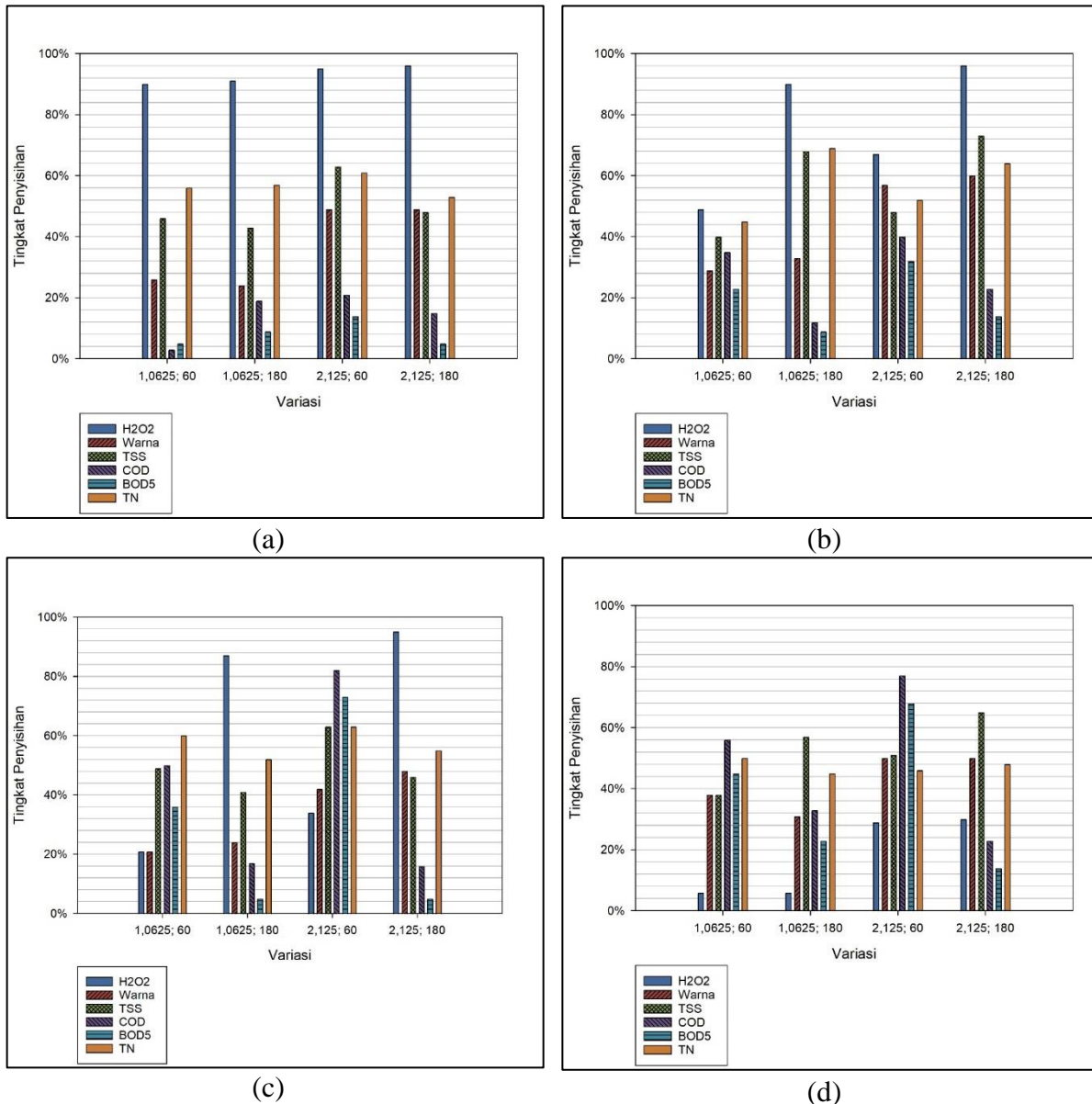
Tingkat H_2O_2 yang tereaksikan terbesar senilai 6%, dari 7.671 mg/L H_2O_2 menjadi 7.231 mg/L H_2O_2 dan 7.204 mg/L H_2O_2 , dengan masing-masing waktu reaksi 60 menit dan 180 menit, rasio konsentrasi $\text{H}_2\text{O}_2/\text{COD}$ 1,0625, dan lindi pH 5. Tingkat H_2O_2 yang tereaksikan terkecil senilai 96%, dari 15.342 mg/L H_2O_2 menjadi 630 mg/L H_2O_2 dan 614 mg/L H_2O_2 dengan masing-masing waktu reaksi 180 menit, rasio konsentrasi $\text{H}_2\text{O}_2/\text{COD}$ 2,125, dan lindi pH 8 dan pH 7.

Variasi penyisihan optimum penelitian ini didapatkan dengan merata-ratakan tingkat penyisihan seluruh parameter pada tiap-tiap variasi. Nilai rata-rata penyisihan yang terbesar dipilih sebagai variasi penyisihan optimum. Berdasarkan Gambar 4.1—4.6 didapatkan nilai rata-rata penyisihan terbesar dari seluruh parameter (warna, BOD_5 , COD, TSS, TN, dan residu H_2O_2) yaitu pada variasi pH 6, $\text{H}_2\text{O}_2/\text{COD}$ 2,125, dan waktu reaksi 60 menit, sebesar 65%. Penyajian data lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran C, Tabel C.2.

4.3 Pengaruh Variasi terhadap Oksidasi H_2O_2

4.3.1 Pengaruh Waktu Reaksi dan Dosis H_2O_2 terhadap Oksidasi H_2O_2

Proses oksidasi menggunakan H_2O_2 disebabkan oleh lamanya waktu reaksi dan dosis H_2O_2 . Dalam Gambar 4.8 dijelaskan hubungan antara waktu reaksi dan dosis H_2O_2 yang ditambahkan dengan parameter air.



Gambar 4.8 Pengaruh Dosis H₂O₂ dan Waktu Reaksi terhadap Parameter H₂O₂ Tereaksikan, Warna, TSS, COD, BOD₅, dan TN pada pH Awal Lindi: (a) pH 8; (b) pH 7; (c) pH 6; (d) pH 5

Berdasarkan Gambar 4.8, tingkat penyisihan warna dan TSS memiliki tingkat penyisihan yang semakin tinggi diikuti dengan peningkatan penambahan konsentrasi dosis H₂O₂. Secara umum, tingkat penyisihan dapat meningkat dengan peningkatan dosis H₂O₂ karena peningkatan jumlah foton yang diserap dan direaksikan dengan H₂O₂ pada konsentrasi dosis yang tinggi. Meskipun peningkatan dosis H₂O₂ dapat mengimplikasikan penyisihan polutan yang lebih besar, dosis yang optimal juga diperlukan untuk menghindari kebutuhan bahan kimia yang berlebihan yang berakibat pada biaya kebutuhan kimia yang tinggi juga. Selain itu, dosis yang berlebihan dapat menyebabkan efek *scavenging* yang dapat menghambat proses oksidasi sehingga menurunkan efisiensi (Abdullah *et al.*, 2014). Warna memiliki tingkat penyisihan yang semakin tinggi diikuti dengan peningkatan waktu reaksi. Namun, peningkatannya tidak signifikan. Hal tersebut dimungkinkan karena H₂O₂ mengoksidasi produk sampingan yang lebih oksidatif dibandingkan dengan polutan yang akan dioksidasi (Zhang *et al.* 2006).

Berdasarkan Gambar 4.8, tingkat penyisihan BOD₅ dan COD memiliki tingkat penyisihan yang semakin rendah seiring dengan peningkatan waktu reaksi pada 180 menit menyebabkan penurunan efisiensi penyisihan BOD₅ dan COD. Tingkat penyisihan BOD₅ dan COD memiliki tingkat penyisihan yang semakin tinggi diikuti dengan peningkatan penambahan konsentrasi dosis H₂O₂ pada waktu reaksi selama 60 menit. Peningkatan penambahan konsentrasi H₂O₂ tidak diikuti dengan peningkatan penyisihan COD pada waktu reaksi selama 180 menit dengan lindi pH 8, pH 6, dan pH 5. Hal tersebut dapat dikarenakan H₂O₂ belum selesai mengkonversi karbon organik menjadi karbon anorganik secara lengkap. Proses konversi tersebut dinamakan oksidasi parsial yang membentuk senyawa *intermediate* yang dapat meningkatkan konsentrasi COD dan BOD₅ (Zhang *et al.* 2006; Pieczykolan *et al.* 2012; Abdullah *et al.*, 2014). Penyisihan COD yang lebih rendah dapat dihubungkan dengan konsentrasi amonia yang lebih tinggi. Amonia merupakan senyawa anorganik yang sulit dioksidasi (Vogel *et al.*, 2000). Selain itu, sampel yang diolah juga mempengaruhi oksidasi kimia karena matriks dalam sampel yang kompleks. COD dalam lindi dipengaruhi oleh senyawa anorganik seperti Fe(II), Mn(II), sulfida, etanol, asam asetat, amonia dan klorida. Senyawa anorganik Fe(II) dan sulfida merupakan bahan anorganik yang mempengaruhi penurunan COD (Kylefors *et al.* 2003).

Mekanisme oksidasi H₂O₂ dalam menurunkan polutan ada dua, yaitu oksidasi langsung dan sumber oksigen (USP Technologies, 2022). H₂O₂ secara signifikan dapat mengurangi polutan *recalcitrant*. Hal tersebut dapat mengurangi beban dan melindungi proses pengolahan biologis jika terdapat pengolahan biologis setelah penambahan H₂O₂. Selain itu, konsentrasi H₂O₂ dapat merangsang aktivitas bakteri aerobik sehingga dapat menurunkan konsentrasi TN, karena mekanismenya dapat digunakan sebagai sumber oksigen alternatif. Penyisihan TN, terutama nitrogen amonia, dapat dihilangkan dengan proses nitrifikasi. Kinerja nitrifikasi tergantung pada kondisi suhu, pH, beban polutan organik dan beracun, dan konsentrasi nitrogen dalam air limbah itu sendiri. Namun, faktor yang terpenting adalah konsentrasi oksigen terlarut (Józwiakowski *et al.*, 2017).

Faktor yang mempengaruhi dekomposisi H₂O₂ antara lain adalah temperatur, pH, kontaminan/katalis, dan sinar UV (USP Technologies, 2022). Selain itu, konsentrasi awal H₂O₂ juga dapat mempengaruhi dekomposisi H₂O₂. Dalam penelitian Yazıcı dan Deveci (2010), penurunan konsentrasi H₂O₂ pada konsentrasi awal 800 mg/L lebih besar penurunannya dibandingkan pada konsentrasi H₂O₂ awal 131 mg/L. Namun, penurunannya tidak signifikan dalam penelitian tersebut.

4.3.2 Pengaruh pH terhadap Oksidasi H₂O₂

Selama proses pengolahan, pH lindi dibiarkan berubah seiring dengan waktu reaksi. Perubahan pH akibat dari reaksi oksidasi H₂O₂ dapat dilihat pada Tabel 4.2. Sebelum dilakukan pengukuran parameter air, pH lindi dinetralkan ke pH 8.

Tabel 4.2 pH Awal Lindi Sebelum dan Setelah Proses Pengolahan

pH	Waktu reaksi	Rasio Konsentrasi H ₂ O ₂ /COD	pH	
			Sebelum Proses	Setelah Proses
8	60	1,0625	7,9	8,01

pH	Waktu reaksi	Rasio Konsentrasi H ₂ O ₂ /COD	pH	
			Sebelum Proses	Setelah Proses
	180	2,125	7,9	7,97
		1,0625	7,9	8,04
		2,125	7,9	7,97
7	60	1,0625	6,99	7,58
		2,125	6,99	7,77
	180	1,0625	6,99	7,7
		2,125	6,99	7,86
6	60	1,0625	6,13	6,71
		2,125	6,13	6,76
	180	1,0625	6,13	7,6
		2,125	6,13	7,86
5	60	1,0625	5,05	5,33
		2,125	5,05	5,33
	180	1,0625	5,05	5,72
		2,125	5,05	5,8

H₂O₂ memiliki sifat yang stabil pada kondisi asam dan bersifat tidak stabil pada kondisi alkali. Kondisi alkali menyebabkan terjadinya reaksi dekomposisi H₂O₂ (Pers. 2.1) (USP Technologies, 2022). Jika dilihat pada Gambar 4.6, terlihat bahwa pada lindi pH 8, H₂O₂ yang tereaksikan cukup besar pada setiap waktu reaksi dan rasio konsentrasi H₂O₂/COD. Lindi pH 7 dan pH 6, pada waktu reaksi selama 180 menit, H₂O₂ yang tereaksikan lebih besar jika dibandingkan waktu reaksi selama 60 menit. Lindi pH 5, juga berlaku hal yang sama, H₂O₂ yang tereaksikan pada waktu reaksi selama 180 menit bernilai lebih besar dibandingkan pada waktu reaksi selama 60 menit. Akan tetapi, lindi pH awal 5 memiliki nilai H₂O₂ yang tereaksikan paling kecil dibandingkan dengan pH lindi lainnya. Hal tersebut dikarenakan oleh pH awal lindi yang rendah.

Jika dilihat pada Tabel 4.1, menunjukkan bahwa pada setiap terjadi kenaikan pH setelah proses. Hal menunjukkan bahwa H₂O₂ berperan sebagai oksidator (Pers. 2.2). Kenaikan pH terjadi karena H₂O₂ mengkonsumsi ion H⁺. Pada kondisi tersebut, H₂O₂ mengoksidasi senyawa organik dan anorganik (Bagastyo *et al.*, 2018). Reaksi H₂O₂ yang mengoksidasi senyawa organik dan organik, maka terjadi kenaikan pH. Ketika lindi yang ditambahkan H₂O₂ mempunyai pH 6 dan pH 7 dengan waktu reaksi selama 180 menit, pH-nya akan naik menuju pH 8 yang bersifat alkali, maka saat itu H₂O₂ akan terjadi reaksi dekomposisi sehingga konsentrasi H₂O₂ dalam lindi akan berkurang dengan cepat karena H₂O₂ yang tidak stabil pada pH alkali. Hal yang berbeda terjadi pada lindi pH 5. Ketika lindi yang ditambahkan H₂O₂ mempunyai pH 5, pH-nya akan naik menuju pH 6 yang masih bersifat asam sehingga H₂O₂ tidak terjadi dekomposisi karena H₂O₂ yang stabil pada pH asam. Rasio konsentrasi H₂O₂/COD yang lebih tinggi (2,125) pada lindi memiliki tingkat H₂O₂ tereaksikan yang lebih tinggi dibandingkan pada rasio konsentrasi H₂O₂/COD yang lebih rendah (1,0625) (Evonik, 2022).

Berdasarkan Gambar 4.8, tingkat penyisihan warna, BOD₅, COD dan TSS memiliki tingkat penyisihan yang semakin tinggi pada pH yang semakin rendah karena pH yang semakin rendah H₂O₂ mengoksidasi polutan dalam lindi memiliki durasi yang lebih lama sampai pH semakin naik menuju kondisi alkali. Saat kondisi alkali H₂O₂ akan mengalami reaksi dekomposisi. Selain itu, dalam pH yang rendah, gugus fungsi karboksilat dan fenol dari senyawa humat terprotonasi dan menurunkan muatan senyawa humat. Oleh karena itu, penyisihan materi organik optimum pada pH rendah. Beberapa polutan organik dalam lindi langsung dioksidasi menjadi produk akhir (CO₂ dan H₂O) dalam prosesnya dan sama diubah terlebih dahulu menjadi produk antara (asam asetat) yang selanjutnya dioksidasi menjadi produk akhir. Senyawa humat berkontribusi dalam warna air. (Abdullah *et al.*, 2014).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Variasi optimum pada pH 6, H₂O₂/COD 2,125, dan waktu reaksi 60 menit yang memiliki nilai rata-rata penyisihan warna, BOD₅, COD, TSS, TN, dan H₂O₂ tereaksikan sebesar 65%.
2. Konsentrasi residu H₂O₂ yang lebih tinggi pada pH awal lindi yang bersifat asam, dan waktu reaksi yang pendek. Namun, waktu reaksi yang lebih panjang juga dapat menurunkan residu H₂O₂ karena seiring dengan meningkatnya pH akibat reaksi oksidasi. Selain itu, konsentrasi awal H₂O₂ juga mempengaruhi konsentrasi residu H₂O₂.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Pengukuran konsentrasi oksigen terlarut dalam lindi hasil pengolahan untuk diketahui efek dari mekanisme H₂O₂ sebagai sumber oksigen.
2. Pengukuran amonia dalam lindi.mula-mula agar diketahui pengaruhnya terhadap penurunan TN.
3. Pengujian pada rentang variasi (pH, rasio konsentrasi H₂O₂/COD, dan waktu reaksi) yang lebih lebar untuk mengetahui tren perubahan.
4. Penyimpanan sampel pada botol yang ditutupi dengan *aluminum foil* agar sinar uv tidak terabsorpsi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, N., Aziz, H.A., Yusuf, N.N.A.N., Umar, M. and Amr, S.S.A., 2014. Potential of KMnO_4 and H_2O_2 in treating semi-aerobic landfill leachate. *Applied Water Science*, 4(3), pp.303-309.
- Adeyinka, J. S. and Rukeh, A. R., 1999. Effect of Hydrogen Peroxide on Industrial Waste Water Effluents: a Case Study of Warri Refining and Petrochemical Industry. *Environmental Monitoring and Assessment*, 59, pp. 249-256.
- Amaral-Silva, N., Martins, R. C., Castro-Silva, S. & Quinta-Ferreira, R. M., 2016. Ozonation and perozonation on the biodegradability improvement of a landfill leachate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4, pp. 527-533.
- Amor, C., De Torres-Socías, E., Peres, J.A., Maldonado, M.I., Oller, I., Malato, S. and Lucas, M.S., 2015. Mature landfill leachate treatment by coagulation/flocculation combined with Fenton and solar photo-Fenton processes. *Journal of Hazardous Materials*, 286, pp.261-268.
- Aswadi, M. (2006). Pemodelan Fluktuasi Nitrogen (Nitrit) Pada Aliran Sungai Palu. *Jurnal SMARTek*, 4(2), 112–125.
- Atima, W. (2015). Bod Dan Cod Sebagai Parameter Pencemaran Air Dan Baku Mutu Air Limbah. *Biosel: Biology Science and Education*, 4(1), 83.
- Bagastyo, A.Y., Anggrainy, A.D., Tamas, I.N. and Herumurti, W., 2018. Advanced Oxidation Process of Mature Landfill Leachate Containing Ferrous ion. *ENVIRONMENTASIA*, 11(1), pp.230-242.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. 2021. Prakiraan Musim Kemarau Tahun 2021/2022 di Indonesia. *BMKG*. [online] Available at: <<https://www.bmkg.go.id/iklim/prakiraan-musim.bmkg>> [Accessed 23 July 2022].
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. 2022. Prakiraan Musim Kemarau Tahun 2022 di Indonesia. *BMKG*. [online] Available at: <<https://www.bmkg.go.id/iklim/prakiraan-musim.bmkg>> [Accessed 23 July 2022].
- Buana, S., Tambaru, R., Selamat, M. B., Lanuru, M., & Massinai, A. (2021). The role of salinity and Total Suspended Solids (TSS) to abundance and structure of phytoplankton communities in estuary Saddang Pinrang. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 860(1).
- Cristiany, A., Rezagama, A. & Nur, M., 2017. Perbandingan efisiensi pengolahan air zat warna sintetis indigosol yellow sebagai hasil produksi batik dengan metode fenton dan ozonasi katalitik terhadap parameter warna. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(3), pp. 1-9.
- De Morais, J.L. and Zamora, P.P., 2005. Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates. *Journal of hazardous materials*, 123(1-3), pp.181-186.

- Evonik.com. (2022). *Hydrogen peroxide stability and decomposition*. [online] Available at: <https://active-oxygens.evonik.com/en/products-and-technologies/hydrogen-peroxide/general-information/stability-and-decomposition>.
- Guvenc, S.Y., Dincer, K. and Varank, G., 2019. Performance of electrocoagulation and electro-Fenton processes for treatment of nanofiltration concentrate of biologically stabilized landfill leachate. *Journal of Water Process Engineering*, 31, p.100863.
- Hermosilla, D., Cortijo, M. and Huang, C.P., 2009. Optimizing the treatment of landfill leachate by conventional Fenton and photo-Fenton processes. *Science of the Total Environment*, 407(11), pp.3473-3481.
- Józwiakowski, K., Marzec, M., Fiedurek, J., Kamińska, A., Gajewska, M., Wojciechowska, E., Wu, S., Dach, J., Marczuk, A. and Kowalczyk-Juśko, A., 2017. Application of H₂O₂ to optimize ammonium removal from domestic wastewater. *Separation and Purification Technology*, 173, pp.357-363.
- Kochany, J. and Lipczynska-Kochany, E., 2009. Utilization of landfill leachate parameters for pretreatment by Fenton reaction and struvite precipitation—a comparative study. *Journal of Hazardous Materials*, 166(1), pp.248-254.
- Krishnan, S., Rawindran, H., Sinnathambi, C.M. and Lim, J.W., 2017, June. Comparison of various advanced oxidation processes used in remediation of industrial wastewater laden with recalcitrant pollutants. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 206, No. 1, p. 012089). IOP Publishing.
- Ksibi., 2006. Chemical oxidation with hydrogen peroxide for domestic wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 119, pp. 161-165.
- Kurniawan, T. A., Lo, W. & Chan, G. Y. S., 2006. Radicals-catalyzed oxidation reactions for degradation of recalcitrant compounds from landfill leachate. *Chemical Engineering Journal*, 125, pp. 35-57.
- Kylefors, K., Andreas, L. and Lagerkvist, A., 2003. A comparison of small-scale, pilot-scale and large-scale tests for predicting leaching behaviour of landfilled wastes. *Waste management*, 23(1), pp.45-59.
- Le, S.T. and Le, K.C., 2019. Reduction of Cod in Nam Son Landfill Leachate by Electro-Fenton as Secondary Treatment after Electrocoagulation Pretreatment. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 57(6), pp.724-724.
- Lee, E., Lee, H., Kim, Y.K., Sohn, K. & Lee, K., 2011. Hydrogen peroxide interference in chemical oxygen demand during ozone based advanced oxidation of anaerobically digested livestock wastewater. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, 8, pp. 381-388.
- Lee, H.S., Hur, J., Lee, M.H., Brogi, S.R., Kim, T.W. and Shin, H.S., 2019. Photochemical release of dissolved organic matter from particulate organic matter: Spectroscopic characteristics and disinfection by-product formation potential. *Chemosphere*, 235, pp.586-595.

- Li, W., Zhou, Q. and Hua, T., 2010. Removal of organic matter from landfill leachate by advanced oxidation processes: a review. *International Journal of Chemical Engineering*, 2010.
- Lopez, A., Pagano, M., Volpe, A. and Di Pinto, A.C., 2004. Fenton's pre-treatment of mature landfill leachate. *Chemosphere*, 54(7), pp.1005-1010.
- Marhaini & Wibowo, H. S., 2016. Pengembangan proses oksidasi tingkat lanjut menggunakan fotokatalis TiO₂ dengan penambahan H₂O₂ untuk pengolahan limbah cair industri pertambangan batubara. *Distilasi*, 1(1), pp. 51-56.
- Nogueira, R.F.P., Oliveira, M.C. and Paterlini, W.C., 2005. Simple and fast spectrophotometric determination of H₂O₂ in photo-Fenton reactions using metavanadate. *Talanta*, 66(1), pp.86-91.
- Peng, Y., 2017. Perspectives on technology for landfill leachate treatment. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, pp.S2567-S2574.
- Pieczykolan, B., Barbusinski, K. & Plonka, I., 2012. COD Removal from Landfill Leachate Using H₂O₂, UV Radiation and Combination These Processes. *Environment Protection Engineering*, 38(3), pp. 5-13.
- Renou, S., Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F. and Moulin, P., 2008. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of hazardous materials*, 150(3), pp.468-493.
- Roa-Morales, G., Campos-Medina, E., Aguilera-Cotero, J., Bilyeu, B. and Barrera-Díaz, C., 2007. Aluminum electrocoagulation with peroxide applied to wastewater from pasta and cookie processing. *Separation and Purification Technology*, 54(1), pp.124-129.
- Said, N.I. and Hartaja, D.R.K., 2015. Pengolahan air lindi dengan proses biofilter anaerob-aerob dan denitrifikasi. *Jurnal Air Indonesia*, 8(1).
- Salahshoor, M. and Guo, Y., 2012. Biodegradable orthopedic magnesium-calcium (MgCa) alloys, processing, and corrosion performance. *Materials*, 5(1), pp.135-155.
- Sara, P. S., Astono, W., & Hendrawan, D. I. (2018). Kajian Kualitas Air Di Sungai Ciliwung Dengan Parameter Bod Dan Cod. *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan*, 0(0), 591–597.
- Schmidt, L.J., Gaikowski, M.P. and Gingerich, W.H., 2006. Environmental assessment for the use of hydrogen peroxide in aquaculture for treating external fungal and bacterial diseases of cultured fish and fish eggs. *USGS Report*, p.180.
- Shokrollahzadeh, S., Golmohammad, F., Naseri, N., Shokouhi, H. & Arman-mehr, M., 2012. Chemical oxidation for removal of hydrocarbons from gasfield produced water. *Procedia Engineering*, 42, pp. 942-947.
- Tamas, I.N., 2017. *Proses Fenton Pada Pengolahan Lindi TPA Ngipik, Gresik* (Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Tardepa, O. (2021). *Analisis kandungan Chemical Oxygen Demand (COD) dan Biochemical Oxygen Demand (BOD) pada air Sungai Danau Teluk Kelurahan Olak Kemang Kota Jambi [Karya Ilmiah]*.

- Tejera, J., Herмосilla, D., Gascó, A., Miranda, R., Alonso, V., Negro, C. and Blanco, Á., 2021. Treatment of mature landfill leachate by electrocoagulation followed by Fenton or UVA-LED photo-Fenton processes. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 119, pp.33-44.
- Tejera, J., Herмосilla, D., Gascó, A., Negro, C. and Blanco, Á., 2021. Combining Coagulation and Electrocoagulation with UVA-LED Photo-Fenton to Improve the Efficiency and Reduce the Cost of Mature Landfill Leachate Treatment. *Molecules*, 26(21), p.6425.
- Tejera, J., Miranda, R., Herмосilla, D., Urra, I., Negro, C. and Blanco, Á., 2019. Treatment of a mature landfill leachate: comparison between homogeneous and heterogeneous photo-Fenton with different pretreatments. *Water*, 11(9), p.1849.
- Thasilu, K. and Karthikeyan, J., 2016. Decolorisation and degradation of CI acid green 1 by H₂O₂ and Fenton oxidation processes. *American Journal of Environmental Engineering*, 6, pp.105-109.
- Titchou, F.E., Zazou, H., Afanga, H., El Gaayda, J., Akbour, R.A., Nidheesh, P.V. and Hamdani, M., 2021. Removal of organic pollutants from wastewater by advanced oxidation processes and its combination with membrane processes. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 169, p.108631.
- Tizaoui, C., Bouselmi, L., Mansouri, L. & Ghrabi, A., 2007. Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide systems. *Journal of Hazardous Materials*, 140, pp. 316–324.
- Tomperi, J., Isokangas, A., Tuuttila, T. and Paavola, M., 2022. Functionality of turbidity measurement under changing water quality and environmental conditions. *Environmental technology*, 43(7), pp.1093-1101.
- Tripathy, B.K., Ramesh, G., Debnath, A. and Kumar, M., 2019. Mature landfill leachate treatment using sonolytic-persulfate/hydrogen peroxide oxidation: Optimization of process parameters. *Ultrasonics sonochemistry*, 54, pp.210-219.
- upstdlh.id. (n.d.). *UPST Bantargebang | UPST DLH DKI Jakarta*. [online] Available at: <https://upstdlh.id/UPST/index>.
- Vogel, F., Harf, J., Hug, A. and Von Rohr, P.R., 2000. The mean oxidation number of carbon (MOC)—a useful concept for describing oxidation processes. *Water Research*, 34(10), pp.2689-2702.
- Wang, F., Smith, D.W. and El-Din, M.G., 2003. Application of advanced oxidation methods for landfill leachate treatment—A review. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 2(6), pp.413-427
- www.h2o2.com. (n.d.). *What factors contribute to the decomposition of H₂O₂? | USP Technologies*. [online] Available at: <https://www.h2o2.com/faqs/FaqDetail.aspx?fId=5>.
- www.h2o2.com. (n.d.). *BOD and COD Removal Using Hydrogen Peroxide H₂O₂ | USPTechnologies*. [online] Available at:

<https://www.h2o2.com/industrial/applications.aspx?pid=104&name=BOD-COD-Removal>.

www.h2o2.com. (n.d.). *Analytical Interferences Residual H₂O₂ | USP Technologies*. [online] Available at: <https://www.h2o2.com/technical-library/analytical-methods/default.aspx?pid=75&name=Analytical-Interferences-Caused-by-Residual-Peroxide> [Accessed 15 May 2022].

Yazici, E.Y. and Devenci, H., 2010, October. Factors affecting decomposition of hydrogen peroxide. In *Proceedings of the XIIth international mineral processing symposium* (pp. 609-616). Ankara: Mining Engineering Department, Hacettepe University.

Zhang, H., Choi, H.J. and Huang, C.P., 2006. Treatment of landfill leachate by Fenton's reagent in a continuous stirred tank reactor. *Journal of Hazardous materials*, 136(3), pp.618-623.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN A. PROSEDUR ANALISIS PARAMETER AIR

a. Analisis COD

Alat dan bahan:

- 1) Larutan Kalium Dikromat $K_2Cr_2O_7$
- 2) Kristal Perak Sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan Asam Sulfat (H_2SO_4)
- 3) Kristal Merkuri Sulfat (Hg_2SO_4)
- 4) Larutan Standart Ferro Amonium Sulfat 0,05 N
- 5) Larutan Indikator Fenantrolin Ferro Sulfat (Feroin)
- 6) Buret 50 mL 1 buah
- 7) Erlenmeyer COD 2 buah
- 8) Alat refluks dan pemanasnya
- 9) Pipet 10 mL, 5 mL
- 10) Beaker glass 50 mL 1 buah

Prosedur percobaan:

- 1) Masukkan 0,4 g kristal Hg_2SO_4 ke dalam masing-masing erlenmeyer COD.
- 2) Tuangkan 20 mL air sampel dan 20 mL air aquadest (sebagai blanko) ke dalam masing-masing erlenmeyer COD.
- 3) Tambahkan 10 mL larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N.
- 4) Tambahkan 30 mL larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4 .
- 5) Alirkan air pendingin pada kondensor dan pasang erlenmeyer COD.
- 6) Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam.
- 7) Biarkan erlenmeyer dingin dan tambahkan air aquades melalui kondensor sampai volume 150 mL.
- 8) Lepaskan erlenmeyer dari kondensor dan tunggu sampai dingin.
- 9) Tambahkan 3-4 tetes indikator feroin.
- 10) Titrasi kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standar Ferro Amonium Sulfat 0,05 N hingga warna menjadi merah-coklat.
- 11) Hitung COD sampel dengan rumus berikut:

$$COD \left(\frac{mg}{L} O_2 \right) = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{vol. sampel} \times f \times p$$

Dimana:

- a = mL FAS titrasi blanko
- b = mL FAS titrasi sampel
- N = normalitas larutan FAS
- F = faktor (20 : titran blanko ke dua)
- p = pengenceran

b. Analisis BOD₅

Alat dan bahan:

- 1) Larutan Buffer Fosfat
- 2) Larutan Magnesium Sulfat
- 3) Larutan Kalium Klorida
- 4) Larutan Ferri Klorida
- 5) Bubuk Inhibitor Nitrifikasi
- 6) Benih atau inoculum, biasanya berasal dari tanah yang subur sebanyak 10 g diencerkan dengan 100 mL air
- 7) Larutan Mangan Sulfat
- 8) Larutan Pereaksi Oksigen

- 9) Indikator Amilum 0,5%
- 10) Asam Sulfat pekat
- 11) Larutan Standar Natrium Tiosulfat 0,0125 N
- 12) Aerator untuk mengaerasi air pengencer
- 13) Drum atau ember untuk air pengencer
- 14) Botol winkler 300 mL 2 buah
- 15) Botol winkler 150 mL 2 buah
- 16) Inkubator dengan suhu 20°C
- 17) Labu takar 500 mL 1 buah
- 18) Pipet 10 mL, 5 mL
- 19) Gelas ukur 100 mL 1 buah
- 20) Buret 25 mL atau 50 mL
- 21) Erlenmeyer 250 mL 1 buah

Prosedur percobaan:

- Pembuatan air pengencer

Air pengencer ini tergantung banyaknya sampel yang akan dianalisis dan pengencerannya, prosedurnya:

- 1) Tambahkan 1 mL larutan Buffer Fosfat per liter air
 - 2) Tambahkan 1 mL larutan Magnesium Sulfat per liter air
 - 3) Tambahkan 1 mL larutan Kalium Klorida per liter air
 - 4) Tambahkan 1 mL larutan Ferri Klorida per liter air
 - 5) Tambahkan 10 mg bubuk inhibitor
 - 6) Aerasi minimal selama 2 jam
 - 7) Tambahkan 1 mL larutan benih per liter air
- Prosedur BOD₅

Menentukan pengenceran

Untuk menganalisis BOD₅ harus diketahui besarnya pengenceran melalui angka KMnO₄ sebagai berikut:

$$P = \frac{\text{Angka } KMnO_4}{3 \text{ atau } 5}$$

Prosedur BOD₅ dengan winkler:

- 1) Siapkan 1 buah labu takar 500 mL dan tuangkan sampel sesuai dengan perhitungan pengenceran, tambahkan air pengencer sampai batas labu.
- 2) Siapkan 2 buah botol winkler 300 mL dan 2 buah botol winkler 150 mL.
- 3) Tuangkan air dalam labu takar tadi ke dalam botol winkler 300 mL dan 150 mL sampai tumpah.
- 4) Tuangkan air pengencer ke botol winkler 300 mL dan 150 mL sebagai blanko sampai tumpah.
- 5) Masukkan kedua botol winkler 300 mL ke dalam inkubator 20°C selama 5 hari.
- 6) Kedua botol winkler 150 mL yang berisi air dianalisis oksigen terlarutnya dengan prosedur sebagai berikut:
 - Tambahkan 1 mL larutan Mangan Sulfat
 - Tambahkan 1 mL larutan Pereaksi Oksigen

- Botol ditutup dengan hati-hati agar tidak ada gelembung udaranya lalu balik-balikkan beberapa kali.
 - Biarkan gumpalan mengendap selama 5-10 menit.
 - Tambahkan 1 mL Asam Sulfat pekat, tutup dan balik-balikkan
 - Tuangkan 100 mL larutan ke dalam erlenmeyer 250 mL
 - Titrasi dengan larutan Natrium Tiosulfat 0,0125 N sampai warna menjadi coklat muda
 - Tambahkan 3-4 tetes indikator amilum dan titrasi dengan Natrium Tiosulfat hingga warna biru hilang
- 7) Setelah 5 hari, analisis kedua larutan dalam botol winkler 300 mL dengan analisis oksigen terlarut.
- 8) Hitung Oksigen Terlarut dan BOD₅ dengan rumus berikut:

$$OT \left(\frac{mg O_2}{L} \right) = \frac{a \times N \times 8000}{100 mL}$$

$$BOD_5^{20} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{[(X_0 - X_5) - (B_0 - B_5)] \times (1 - P)}{P}$$

$$P = \frac{mL \text{ sampel}}{\text{volume hasil pengenceran (500 mL)}}$$

Dimana:

X₀ = oksigen terlarut sampel pada t = 0

X₅ = oksigen terlarut sampel pada t = 5

B₀ = oksigen terlarut blanko pada t = 0

B₅ = oksigen terlarut blanko pada t = 5

P = derajat pengenceran

c. Analisis pH

Alat dan bahan:

- 1) Larutan buffer pH 4,01 (25°C)
- 2) Larutan buffer pH 6,86 (25°C)
- 3) Larutan buffer pH 9,18 (25°C)
- 4) pH meter.

Prosedur percobaan

- 1) Karena untuk setiap jenis pH meter mempunyai perlakuan tertentu yang dicantumkan dalam buku petunjuk alat tersebut, maka tidak bisa dibicarakan secara terperinci, hanya saja setiap pH meter hendaknya dikalibrasi terlebih dahulu dengan larutan buffer pH 4,01; 6,86; dan 9,18 sebelum digunakan untuk pengukuran pH dari sampel air. Suhu pengukuran disesuaikan antara suhu pada pH meter dengan suhu sampel pada saat itu.
- 2) Pada keadaan tidak dialiri arus listrik jarum pH meter harus menunjukkan angka 7 kecuali dengan pH meter sistem digital.

d. Analisis Besi dengan Metode Spektrofotometer

Alat dan bahan:

- 1) Larutan Hydroxylamine (NH₂OH.HCl)
- 2) Larutan HCl pekat
- 3) Larutan Amonium Acetate Buffer (NH₄C₂H₃O₂)
- 4) Larutan Phenanthroline Monohydrate
- 5) Spektrofotometer dan kuvet
- 6) Erlenmeyer 100 mL 2 buah
- 7) Pipet 5 mL; 10 mL; 25 mL

8) Pemanas listrik.

Prosedur percobaan:

- 1) Ambil 2 erlenmeyer 100 mL dan isi masing-masing erlenmeyer dengan 25 mL sampel air dan air aquadest (sebagai blanko).
- 2) Tambahkan masing-masing 1 mL HCl pekat.
- 3) Tambahkan masing-masing 0,5 mL Hydroxylamine (NH₂OH.HCl).
- 4) Panaskan hingga volume menjadi ± 15-20 mL (ini khusus untuk sampel air saja).
- 5) Dinginkan dan encerkan dengan aquadest hingga volume mencapai 25 mL dalam labu ukur.
- 6) Tambahkan 5 mL larutan Amonium Acetat Buffer pada masing-masing erlenmeyer.
- 7) Tambahkan pada masing-masing erlenmeyer 1 mL larutan Phenanthroline Monohydrate.
- 8) Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang 510 μm dan hitung hasil absorbansi pada rumus hasil kalibrasi atau kurva kalibrasi.

e. Analisis TSS

Alat dan bahan:

- 1) Furnace dengan suhu 550°C
- 2) Oven dengan suhu 105°C
- 3) Cawan porselin 50 mL
- 4) Timbangan analitik
- 5) Desikator
- 6) Cawan petridis
- 7) Kertas saring
- 8) Vacuum filter

Prosedur penelitian:

- 1) Cawan porselin dibakar dengan suhu 550°C selama 1 jam, setelah itu masukkan ke dalam oven 105°C selama 15 menit.
- 2) Masukkan kertas saring ke oven 105°C selama 1 jam
- 3) Cawan dan kertas saring di atas dinginkan dalam desikator selama 15 menit.
- 4) Timbang cawan dan kertas saring dengan timbangan analitis (e mg).
- 5) Letakkan kertas saring yang telah ditimbang pada vacuum filter.
- 6) Tuangkan 25 mL sampel di atas filter yang telah dipasang pada vacuum filter, volume sampel yang digunakan ini tergantung dari kepekatannya, catat volume sampel (g mL).
- 7) Saring sampel sampai kering atau airnya habis.
- 8) Letakkan kertas saring pada cawan petridis dan masukkan ke oven 105°C selama 1 jam.
- 9) Dinginkan di dalam desikator selama 15 menit.
- 10) Timbang dengan timbangan analitis (f mg).
- 11) Hitung jumlah Zat Padat Tersuspensi dengan rumus berikut:

$$\text{Zat Padat Total Tersuspensi} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(f - e)}{g} \times 1000 \times 1000$$

dimana:

e = cawan kosong setelah difurnace 550°C dan dioven 105°C

f = cawan dan residu setelah dioven 105°C

- g = volume sampel
- f. Analisis Nitrogen Total (TN):

Analisis TN terdiri atas analisis TKN, Nitrat, dan Nitrit yang kemudian dijumlahkan sehingga dihasilkan nilai TN.

- Analisis TKN Metode *Kjeldahl*

Alat dan bahan:

- 1) Neraca Analitik
- 2) Alat uji Kjeldahl
- 3) Erlenmeyer 250 mL
- 4) Buret
- 5) Pipet tetes
- 6) Digestion reagen:
134 g K_2SO_4 ditambah 7.3 g $CuSO_4$ dilarutkan dengan aquades hingga 800 mL, kemudian ditambahkan dengan 134 mL H_2SO_4 pekat dan diencerkan hingga 1000 mL
- 7) Larutan absorban: Asam borat
20 g H_3BO_3 diencerkan hingga 1000 mL
- 8) Larutan borate buffer 9.5 g $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ dilarutkan dengan aquades hingga volume 500 mL, kemudian ditambahkan 88 mL NaOH 0.1 N dan diencerkan hingga volume 1000 mL
- 9) Larutan Natrium hydroxide-sodium thiosulfate
- 10) Larutkan 500 g NaOH dan 25 mg $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$
- 11) Larutan NaOH 6 N
- 12) Indikator PP 1%
- 13) Larutan titran standar H_2SO_4 0.02 N
- 14) Batu didih
- 15) Indikator titrasi:
200 mg metil merah yang dilarutkan ke dalam 100 mL isoprophil alkohol dicampur dengan 100 mg metil biru yang dilarutkan dengan 50 mL isoprophil alcohol

Prosedur penelitian:

- Destruksi sampel
 - 1) Timbang 5 g sampel dengan neraca analitis.
 - 2) Masukkan ke dalam tabung kjeldahl.
 - 3) Tambahkan aquades hingga 300 mL, tambahkan 50 mL digestion reagen dan lakukan pemanasan hingga tersisa larutan 25-50 mL di dalam labu Kjeldahl. Hentikan proses destruksi dan biarkan beberapa saat hingga suhunya turun.
- Destilasi
 - 1) Tambahkan aquades ke dalam labu Kjeldahl berisi hasil destruksi hingga volume 300 mL. Lalu tambahkan 50 mL larutan *Natrium hydroxide-sodium thiosulfate* dan pasang ke alat destilasi Kjeldahl. Masukkan 50 mL larutan asam borat ke dalam gelas Erlenmeyer 250 mL dan tempatkan pada alat penampung destilat. Atur waktu destilasi dan lakukan proses destilasi.
 - 2) Destilat yang teradsorpsi pada larutan asam borat ditentukan konsentrasinya dengan cara titrasi.

$$N_{organik} + amonia = \frac{vol. titrasi}{vol. sampel} \times 1000 \times 14 \times N_{titran} \times fk$$

dimana:

fk = faktor pengenceran

- Analisis Nitrat Metode Spektrofotometer

Alat dan bahan:

- 1) Erlenmeyer 25 mL
- 2) Pipet volumetric 10 mL
- 3) Larutan brucin asetat 5 %
- 4) H_2SO_4 pekat

Prosedur penelitian:

- 1) Larutkan 0.1 g sampel kering dengan aquades hingga volume 20 mL.
- 2) Ambil 2 mL larutan sampel kemudian tambahkan dengan 2 mL brucin asetat
- 3) Tambahkan 4 mL larutan H_2SO_4 pekat, diamkan selama kurang lebih 10 menit
- 4) Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang ($\lambda = 400 \text{ nm}$)

- Analisis Nitrit Metode Spektrofotometer

Alat dan bahan:

- 1) Labu erlemeyer 25 mL
- 2) Pipet volumetric 10 mL
- 3) Larutan NED
- 4) Larutan sulfanilic acid

Prosedur penelitian:

- 1) Larutkan 0.1 g sampel kering dengan aquades hingga volume 20 mL.
- 2) Siapkan 25 mL sampel kemudian tambahkan aquades hingga volume 25 mL
- 3) Tambahkan 0.5 mL larutan sulfanilic acid, kocok, dan diamkan selama kurang lebih 2 menit
- 4) Tambahkan 0.5 mL larutan NED, diamkan 10 menit-2 jam
- 5) Baca pada spektrofotometer dengan panjang gelombang ($\lambda = 540 \text{ nm}$)

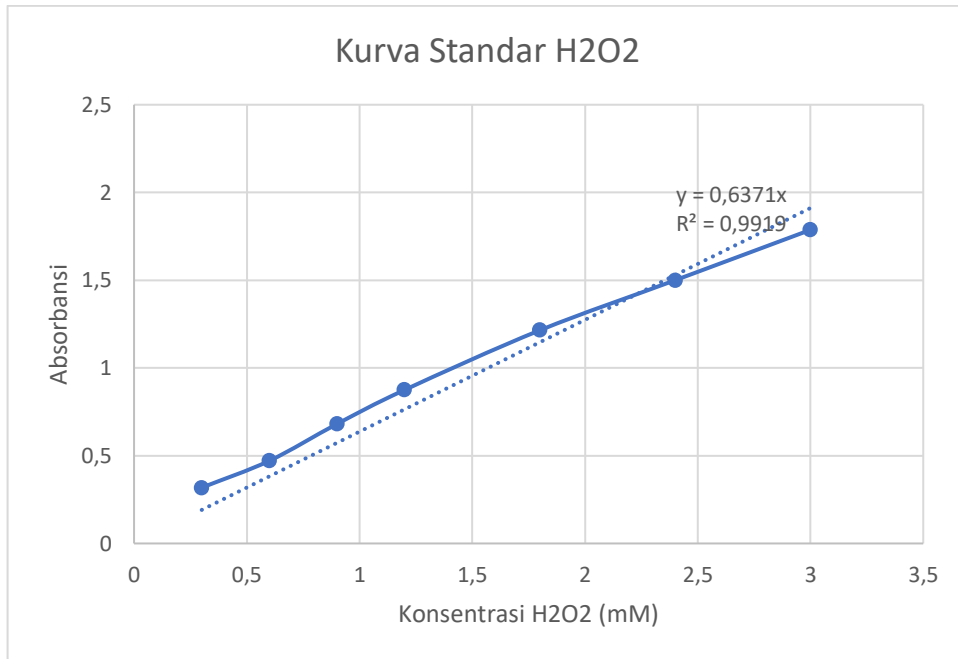
g. Analisis Hidrogen Peroksida

Alat dan bahan:

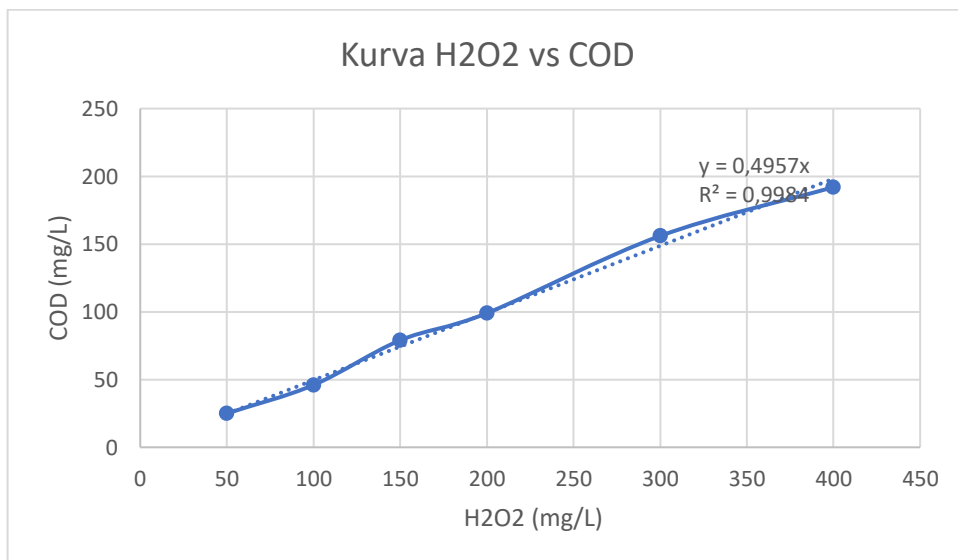
- 1) Asam sulfat pekat
- 2) Ammonium metavanadate (NH_4VO_3)
- 3) 30% H_2O_2
- 4) Kuvet
- 5) Erlenmeyer 100 mL 1 buah
- 6) Labu ukur 10 mL
- 7) Pipet skala 10 mL, 5 mL, dan 1 mL

Prosedur penelitian:

- 1) Pembuatan larutan stock (62 mM Ammonium metavanadate), Larutan A:
 - Timbang 7.252,76 mg bubuk stok Ammonium metavanadate (NH_4VO_3)
 - Masukkan ke dalam beaker glass 1 L, tambahkan aquades 800 mL sambil diaduk.
- 2) Pembuatan larutan stock metavanadate (62 mM VO_3^- , 0,58 M H_2SO_4), Larutan B:
 - Tambahkan 32,2 mL H_2SO_4 pekat ke dalam larutan A dengan pengadukan magnetic sampai terlarut sempurna.
 - Encerkan dengan aquades sampai dengan 1 L.
- 3) Pembuatan larutan stock H_2O_2 (30 mM H_2O_2), Larutan C:
 - Ambil 1,7 mL 30% AR H_2O_2 dan encerkan sampai 500 mL dengan aquades.
- 4) Pengukuran H_2O_2 pada sampel:
 - Ambil 4 mL sampel, masukkan ke dalam labu ukur 10 mL.
 - Tambahkan 1 mL larutan B.
 - Gunakan blanko 1 mL larutan B yang diencerkan hingga 10 mL.
 - Baca absorbansi pada panjang gelombang 450 nm.



Gambar A.1 Kurva Standar H₂O₂



Gambar A.2 Kurva H₂O₂ vs COD

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B. PROSEDUR PENGATURAN PH DAN KEBUTUHAN H₂O₂

a. Pembuatan Larutan Standar

○ Larutan H₂SO₄
$$\% \times \text{Berat jenis} \times 100$$
$$\text{Berat molekul}$$

○ Penceran larutan
$$V1 \times M1 = V2 \times M2$$

dimana:

V1 = Volume larutan induk yang dibutuhkan

M1 = Molaritas larutan induk yang dibutuhkan

V2 = Volume larutan yang akan dibuat

M2 = Molaritas larutan yang akan dibuat

○ Larutan NaOH

$$M = \frac{n}{v} \quad m$$
$$n = \frac{m}{Mr (NaOH)}$$

NaOH 1 N = 4 g NaOH dilarutkan dalam 100 mL aquades

b. Perhitungan Kebutuhan Hidrogen Peroksida tiap Rasio Konsentrasi COD

$$H_2O_2 \text{ (mg/L)} = COD \times (\text{Rasio } H_2O_2 / COD) \times V / 300$$

dimana:

Rasio konsentrasi H₂O₂/COD = 1,0625; 2,125

COD = Konsentrasi COD (mg/L)

V = Volume sampel yang direaksikan (L)

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C. DATA HASIL ANALISIS

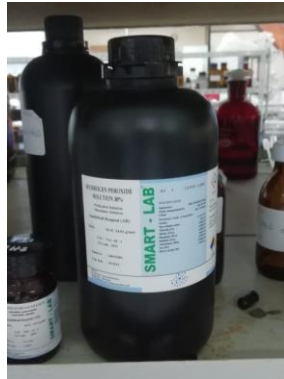
Tabel C.1 Data Hasil Analisis

variasi 1 (pH)	variasi 2 (dosis)	variasi 3 (waktu)	pH		H ₂ O ₂ (mg/L)			Warna	TSS	COD	BOD ₅	Nitrat	Nitrit	TKN	TN
			Sebelum Diolah	Setelah Diolah	konsentrasi awal	sebelum netralisasi	sesudah netralisasi	(PtCo) konsentrasi	(mg/L) konsentrasi	(mg/L) konsentrasi	(mg/L) konsentrasi	(mg/L) konsentrasi	(mg/L) konsentrasi	(mg/L) konsentrasi	(mg/L) konsentrasi
8	1,0625	60	7,90	8,01	7671,25	731,13	731,13	4220	68	7157,58	676,51	16	200	10050	10266
		180	7,90	8,04	7671,25	699,11	699,11	4340	72	5983,45	644,30	14	180	9900	10094
	2,125	60	7,90	7,97	15342,50	699,11	699,11	2910	46	5853,45	612,08	20	180	9000	9200
		180	7,90	7,97	15342,50	629,73	629,73	2890	66	6257,84	676,51	16	260	10650	10926
7	1,0625	60	6,99	7,58	7671,25	3938,47	832,52	4050	76	4807,70	547,65	15	280	12600	12895
		180	6,99	7,70	7671,25	731,13	709,78	3830	40	6487,58	644,30	17	260	6900	7177
	2,125	60	6,99	7,77	15342,50	5117,88	720,45	2450	66	4393,07	483,22	18	250	10950	11218
		180	6,99	7,86	15342,50	613,72	592,37	2290	34	5665,78	612,08	17	160	8250	8427
6	1,0625	60	6,13	6,71	7671,25	6041,12	811,18	4480	64	3705,41	451,01	21	160	9150	9331
		180	6,13	7,60	7671,25	992,62	837,86	4360	74	6147,96	676,51	16	130	11100	11246
	2,125	60	6,13	6,76	15342,50	10182,39	965,94	3300	46	1312,59	193,29	24	140	8400	8564
		180	6,13	7,86	15342,50	725,79	672,42	2940	68	6210,23	676,51	17	100	10350	10467
5	1,0625	60	5,05	5,33	7671,25	7231,20	4264,01	3540	78	3235,49	386,58	32	100	11550	11682
		180	5,05	5,72	7671,25	7204,52	4386,75	3920	54	4958,72	547,65	55	130	12600	12785
	2,125	60	5,05	5,33	15342,50	10881,49	8101,08	2870	62	1716,04	225,50	46	120	12450	12616
		180	5,05	5,80	15342,50	10753,41	8752,16	2860	44	5689,53	612,08	63	170	11850	12083

Tabel C.2 Tingkat Penyisihan tiap Parameter

variasi 1 (pH)	variasi 2 (dosis)	variasi 3 (waktu)	H ₂ O ₂	Warna	TSS	COD	BOD ₅	TN	Rata-rata
			%tereaksikan	%penyisihan	%penyisihan	%penyisihan	%penyisihan	%penyisihan	%
8	1,0625	60	90%	26%	46%	3%	5%	56%	27%
		180	91%	24%	43%	19%	9%	57%	30%
	2,125	60	95%	49%	63%	21%	14%	61%	41%
		180	96%	49%	48%	15%	5%	53%	34%
7	1,0625	60	49%	29%	40%	35%	23%	45%	34%
		180	90%	33%	68%	12%	9%	69%	38%
	2,125	60	67%	57%	48%	40%	32%	52%	46%
		180	96%	60%	73%	23%	14%	64%	47%
6	1,0625	60	21%	21%	49%	50%	36%	60%	43%
		180	87%	24%	41%	17%	5%	52%	28%
	2,125	60	34%	42%	63%	82%	73%	63%	65%
		180	95%	48%	46%	16%	5%	55%	34%
5	1,0625	60	6%	38%	38%	56%	45%	50%	46%
		180	6%	31%	57%	33%	23%	45%	38%
	2,125	60	29%	50%	51%	77%	68%	46%	58%
		180	30%	50%	65%	23%	14%	48%	40%

LAMPIRAN D. DOKUMENTASI



Gambar D.1 H₂O₂ yang Digunakan dalam Penelitian



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Gambar D.2 Alat-alat yang Digunakan dalam Penelitian: (a) Distiller; (b) Inkubator BOD; (c) Kulkas, Tempat Penyimpanan Sampel; (d) Spektrofotometer; (e) Neraca Analitik; (f) Desikator; (g) Oven; (h) Reaktor COD.



Gambar D.3 Proses Penyaringan Sampel untuk Parameter TSS dan Warna



Gambar D.4 Proses Titrasi Parameter BOD



Gambar D.5 Proses *Digestion* Parameter TKN



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar D.6 Proses Pengolahan: (a) Lindi Mula-mula; (b); Reaktor Ditutupi oleh *Aluminum Foil*; (c) Lindi Waktu Reaksi 60 menit; (d) Lindi Waktu Reaksi 180 menit.



(a)



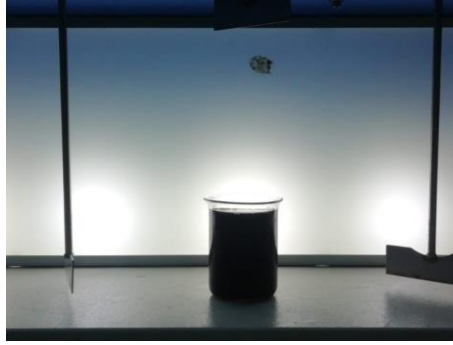
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar D.7 Lindi: (a) Hasil Pengolahan pH awal 8; (b) Hasil Pengolahan pH awal 7; (c) Hasil Pengolahan pH awal 6; (d) Hasil Pengolahan pH awal 5; (e) Sebelum Pengolahan.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta, 9 September 2000, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDIT Gema Nurani, SMPIT Gema Nurani, dan SMAN 4 Bekasi. Penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Teknik Lingkungan FTSPK – ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 03211840000079.

Di Departemen Teknik Lingkungan Penulis aktif dalam organisasi Kelompok Pecinta dan Pemerhati Lingkungan (KPPL HMTL ITS) sebagai Staff Internal dan aktif menjadi Asisten Praktikum Mikrobiologi Lingkungan. Penulis dapat dihubungi melalui email zahidjidanalfani@gmail.com.



KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Zahid Jidan Alfani
NRP : 03211840000079
Judul : *Metode Oksidasi Menggunakan H₂O₂ pada Pengolahan Lindi Inlet di IPAS 3 UPST Bantargebang*

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	15 Februari 2022	Asistensi revisi proposal sebelum dilakukan asistensi ke dosen pengarah	
2	21 Februari 2022	Asistensi persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan	
3	1 Maret 2022	Asistensi perhitungan kebutuhan H ₂ O ₂	
4	17 Maret 2022	Asistensi penelitian pendahuluan	
5	23 Maret 2022	Asistensi perubahan penelitian	
6	31 Maret 2022	Asistensi pengukuran parameter H ₂ O ₂	
7	14 Mei 2022	Asistensi laporan sebelum pengumpulan seminar kemajuan	
8	26 Mei 2022	Asistensi perubahan penelitian	
9	1 Juni 2022	Asistensi kepastian pengukuran parameter H ₂ O ₂	
10	6 Juni 2022	Asistensi diskusi data running	
11	25 Juni 2022	Asistensi laporan sebelum pengumpulan ujian lisan	

Surabaya, 25 Juni 2022
Dosen Pembimbing

Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.
NIP. 19820804 200501 1 001



UTA-91-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 8 Juli 2022

Nilai TOEFL 487

Pukul : 15.30-16.45 WIB

Lokasi : TL 106

Judul : METODE OKSIDASI MENGGUNAKAN H₂O₂ PADA LINDI INLET IPAS 3 UPST BANTARGEBAK

Nama : Zahid Jidan Alfani

NRP. : 03211840000079

Topik : Penelitian

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir
x	Pembahasan untuk variasi penelitian, - waktu reaksi, pH, dengan dosis H ₂ O ₂
*	Residu, apakah senyawa intermediates?
*	Hasil akhir konsentrasi BOD & COD, apakah sesuai baku mutu?
^	Pengujian optimum?
x	Perbaiki penulisan?
*	Canti rujukan pustaka tentang AOP.
w	Biodegradabilitas.

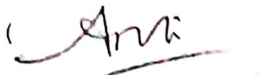
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.

()



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 8 Juli 2022
Pukul : 15.30-16.45 WIB
Lokasi : TL 106
Judul : METODE OKSIDASI MENGGUNAKAN H₂O₂ PADA LINDI INLET IPAS 3 UPST BANTARGEBAWANG

Nama : Zahid Jidan Alfani
NRP. : 03211840000079
Topik : Penelitian

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	Penulisan tabel dan gambar diperbaiki
2.	Pengaruh waktu (tl) dalam proses pengolahan
3.	pH dijaga apa dilakukan penulisan

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji : IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D. ()

Dosen Pembimbing : Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D. (Arseto)

Dosen Co-Pembimbing : Lucky Caesar Direstiyani, S.T., M.Sc. (ONLINE)



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
 Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
 No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
 Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
 Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 8 Juli 2022

Pukul : 15.30-16.45 WIB

Lokasi : TL 106

Judul : METODE OKSIDASI MENGGUNAKAN H₂O₂ PADA LINDI INLET IPAS 3 UPST BANTARGEBAWANG

Nama : Zahid Jidan Alfani

NRP. : 03211840000079

Topik : Penelitian



No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1	Perbaiki salah tih, tata bahasa Inggris pada abstract
2	et al. → italic !!
3	Hal 2. Kalimat TIDAK BOLEH diawali kata kerja.. SPO!
4	Ada kalimat tidak jelas di hal 7. juga kesimpulan!
5	lambun bhn revisi
6	satuan ² lihat lagi ; gram → g, barom gr.
	Pertanyaan
1	Apa maha... buruk, cukup, baik pada Tabel 2.4? Utk penyoloban
2	Rasio H ₂ O ₂ /COD dalam satuan konsentrasi apa? apa? Biologis?
3	hal 16; Benarkah botol hitam dapat menghalangi sinar UV?
4	Kesimpulan 1 sangat banyak. Tentukan 1 saja kondisi optimum: Plagaspa / dari mana angka rata ² penyisihan 61%

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
 Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
 Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
 Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji : Prof. Dr. Yulinah Trihadiningrum, M.App.Sc.
 Dosen Pembimbing : Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phill., Ph.D.
 Dosen Co-Pembimbing : Lucky Caesar Direstiyani, S.T., M.Sc.

(Jidid Alfani)
 (Arseto)
 (Lucky Caesar)



UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 8 Juli 2022
Pukul : 15.30-16.45 WIB
Lokasi : TL 106
Judul : METODE OKSIDASI MENGGUNAKAN H₂O₂ PADA LINDI INLET IPAS 3 UPST BANTARGEBAK

Nama : Zahid Jidan Alfani
NRP. : 03211840000079
Topik : Penelitian

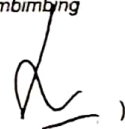
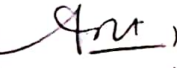
No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1	Perlu pembahasan kaitan antara removal, waktu, dan pH
2.	Skala grafik disamakan

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Alfan Purnomo, ST, MT
Erin Nurbayati, S.T., M.T., Ph.D.

Dosen Pembimbing Arseto Yekti Bagastyo, S.T., M.T., M.Phil., Ph.D.

Dosen Co-Pembimbing Lucky Caesar Direstiyani, S.T., M.Sc.

()
()
(ONLINE)



Lembar Catatan Sidang Skripsi

Nama : Zahid Jidan Alfani
NPM : 0321184000078
Judul : METODE OKSIDASI MENGGUNAKAN H₂O₂ PADA LINDI INLET IPAS 3 UPST BANTARGEBAANG

Redaksional

- Revisi pada judul Bahasa Indonesia:
Pada Lindi **dari** Inlet IPAS 3 UPST Bantargebang
- Sesuaikan judul versi English:
Oxidation Method using H₂O₂ on Leachate from Inlet of IPAS 3 UPST Bantargebang
- Abstrak sudah oke namun perlu menyesuaikan abstrak versi bahasa indonesia
- Masih ada grammatical eror pada abstrak versi English
- Cek lagi daftar gambar dan daftar tabel, penomoran berantakan
- Cek Lampiran C. Sesuaikan lebar kolom, jangan terpisah kata (konsentrasi)
- Hilangkan desimal .00 karena tanpa makna
- Skala grafik disamakan semua.
- Masih banyak penulisan yang strukturnya tidak sesuai ketentuan, cek dan perbaiki di laporan

Konten

- **Bagaimana biodegrabilitas dari lindi setelah pengolahan dengan oksidasi H₂O₂?**
Initial lindi: BOD/COD 0.09
Effluent terbaik: BOD/COD 0.14 → Peningkatan 38.8%
- Bagaimana pengaruh antar variasi (pH, dosis H₂O₂/COD, waktu kontak) terhadap efisiensi penyisihan yang diuji.

Depok, 08 Juli 2022

Dosen Pembimbing 2,

(Lucky Caesar Direstiyani, M.Sc)