

### Pengaruh Kadar Fenton untuk Menurunkan Parameter COD, TSS, TDS Sampel Lindi di TPA

Marco Dwi Laksono dan Tuhu Agung Rachmanto\*

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi: [tuhu.tl@upnjatim.ac.id](mailto:tuhu.tl@upnjatim.ac.id)

#### Kata Kunci:

*fotofenton, lindi, koagulasi flokulasi, Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pH, TPA Belahan Tengah*

#### ABSTRAK

Limbah lindi merupakan rembesan air dari sampah yang tertimbun. Air lindi mengandung senyawa organik berupa hidrokarbon, asam sulfat, asam tanat, asam humat, asam galat dan mengandung senyawa anorganik berupa natrium, kalium, magnesium, klor, dan senyawa logam berat lain yang memiliki konsentrasi tinggi, sehingga mempunyai karakteristik COD (608,6 mg/liter), TSS (5280 mg/liter), dan TDS (1925 ppm) tinggi serta berbahaya untuk ekosistem air jika dibuang langsung ke badan air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi pengolahan lindi menggunakan reaktor koagulasi flokulasi dan reaktor fotofenton. Penelitian ini menggunakan metode *jartest* dengan variasi konsentrasi reagen fenton yang berbeda. Pada *pretreatment* koagulasi flokulasi menggunakan koagulan AlSO<sub>4</sub> sebanyak 16 gram/liter yang mampu menyisihkan COD sebesar 52%, TSS sebesar 70%, TDS sebesar 50%. Selanjutnya, air hasil koagulasi flokulasi diolah dengan metode fotofenton. Pada *system batch* efisiensi penurunan COD, TSS, TDS yang diperoleh pada perbandingan FeSO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1:10) dalam waktu 30 menit sebesar 30%, 93%, 2%. Kemudian diperoleh hasil terbaik dari *system batch*, dilanjutkan *system* kontinu yang memperoleh hasil akhir penyisihan penurunan COD, TSS, TDS yang diperoleh masing masing sebesar 80%, 45%, 48%. Hasil akhir pengolahan pada parameter COD, TSS, TDS dengan menggunakan metode fotofenton ini masing-masing adalah 29,09 mg/liter, 440 mg/liter, dan 336 ppm.

#### Keyword:

*fotofenton, leachate, coagulation, flocculation, Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, pH, TPA Belahan Tengah.*

#### ABSTRACT

*Leachate waste is water seepage from buried garbage. Leachate water contains organic compounds in the form of hydrocarbons, sulfuric acid, tannic acid, humic acid, gallic acid and contains inorganic compounds in the form of sodium, potassium, magnesium, chlorine, and other heavy metal compounds that have high concentrations, so that they have the characteristics of COD (608.6 mg) /liter, TSS (5280 mg/liter), and TDS (1925 ppm) are high and dangerous for aquatic ecosystems if discharged directly into water bodies. This study aims to determine the efficiency of leachate treatment using a coagulation flocculation reactor and a photofenton reactor. This study used the Jarrest method with different concentrations of Fenton's reagent. In the coagulation flocculation pretreatment using AlSO<sub>4</sub> coagulant as much as 16 grams/liter which is able to remove COD by 52%, TSS by 70%, TDS by 50%. Furthermore, the water resulting from the coagulation of flocculation is treated by the photofenton method. In the batch system the efficiency of reducing COD, TSS, TDS obtained at the ratio of FeSO<sub>4</sub>: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1:10) within 30 minutes was 30%, 93%, 2%. Then the best results were obtained from the batch system, followed by a continuous system which obtained the final results of the removal of COD, TSS, TDS reductions which were obtained respectively 80%, 45%, 48%. The final results of processing the COD, TSS, TDS parameters using the photofenton method were 29.09 mg/liter, 440 mg/liter, and 336 ppm respectively.*

## 1. PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya zaman, populasi penduduk di Kabupaten Mojokerto mengalami peningkatan beserta kegiatan dan aktivitas di berbagai sektor yang berakibat peningkatan kuantitas dan jenis sampah yang berada di Kabupaten Mojokerto. Berdasarkan data pusat statistik, Kabupaten Mojokerto pada tahun 2020, sebanyak 1.110.209

jiwa, dengan luas wilayah Kabupaten Mojokerto 692,15 km<sup>2</sup>, dan kepadatan penduduk sekitar 1.617 jiwa per km<sup>2</sup>. TPA Belahan Tengah merupakan tempat pusat pemrosesan akhir Kabupaten Mojokerto yang menghasilkan lindi berwarna hitam pekat dan umumnya mengandung senyawa organik tinggi serta melebihi baku mutu yang berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan. Berdasarkan survei di lapangan,

volume sampah tempat pembuangan akhir belahan tengah Kabupaten Mojokerto tahun 2020 sebanyak 14.520,780 ton.

Seiring berjalannya waktu, jumlah penduduk Provinsi Mojokerto semakin meningkat seiring dengan kegiatan dan kegiatan di berbagai sektor yang mengakibatkan peningkatan jumlah dan jenis sampah di Provinsi Mojokerto. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, Kabupaten Mojokerto tahun 2020, Kabupaten Mojokerto memiliki luas wilayah 692,15 km<sup>2</sup> dan kepadatan penduduk 1.110.209 jiwa dengan sekitar 1.617 jiwa per km<sup>2</sup>. TPA Belahan Tengah, pusat pengolahan akhir di provinsi Mojokerto, menghasilkan lindi padat berwarna hitam, umumnya tinggi senyawa organik dan melebihi baku mutu yang dapat menyebabkan pencemaran. Berdasarkan survei lapangan pada tahun 2020, jumlah sampah di TPA Mojokerto tengah sebanyak 14.520.780 ton.

Sampah yang tertimbun ini menghasilkan lindi. Lindi dikumpulkan di kolam penampung. Kemampuan lindi untuk menembus tanah dapat mencemarinya. Parameter pencemar pada lindi belum memenuhi baku mutu untuk mengoptimalkan teknologi yang ada di TPA Mojokerto sehingga menggunakan alternatif yang dapat digunakan untuk mengolah lindi yaitu *Advanced Chemical Oxidation Process* (AOP) belum terpenuhi. Keunggulan teknologi AOPs adalah dapat memecah senyawa beracun dan komponen organik yang tidak dapat terurai. Salah satu proses teknologi AOPs yang dapat menghasilkan oksidan radikal hidroksil adalah proses fenton. Pereaksi fenton, campuran garam Fe dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dengan sistem pengoksidasi yang menghasilkan radikal OH. Fenton efisien untuk oksidasi, tetapi beberapa senyawa organik sulit diobati dengan fenton. Menurut Umar dkk. (1999), rasio molar yang tepat dan pH awal reagen Fenton adalah dua faktor terpenting dalam mencapai kinerja penyisihan COD maksimum. Selanjutnya, reagen fenton mudah ditangani dan diaplikasikan, tidak memerlukan energi untuk mengaktifkan hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), dan memiliki waktu respons yang cepat dibandingkan dengan teknik AOP lainnya (Yonar et al., 2011). Menurut Isna (2017), efisiensi pengelolaan lindi dengan penambahan 1 gram NaCl dapat menurunkan parameter COD sebesar 89% setelah 20, 40, dan 60 menit. Namun, teknik ini hanya dapat digunakan dalam skala kecil.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Peralatan dan Bahan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Air Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur. Adapun alat-alat yang digunakan dalam pengolahan air lindi dengan metode fotofenton adalah beaker glass 100 ml, reaktor fotofenton, lampu UV C, pipet pump, erlenmeyer, statis dan buret, *jartest*, sedangkan untuk pengambilan data digunakan alat ukur seperti pH meter dan TDS meter.

Bahan bahan utama pada penelitian ini yaitu air lindi yang berasal dari TPA Belahan Tengah, Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NaOH, aquades, dan NaCl.

### 2.2 Prosedur

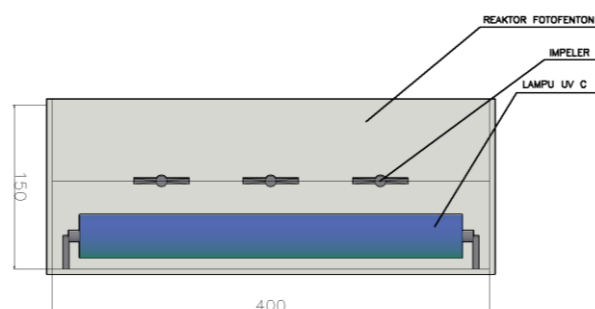
Proses awal dalam metode fotofenton dengan melakukan *pretreatment* berupa koagulasi flokulasi dengan dosis koagulan (Al<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 16 gram/jam selama 30 menit, kemudian dilanjutkan ke bak penampung, kemudian lakukan pencampuran reagen fenton dengan air lindi dengan variasi

dosis Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yakni (1:1), (1:5), (1:10), (1:15), (1:20) dengan waktu kontak yaitu 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 180 menit. Air sampel yang telah melalui proses fotofenton akan dilakukan pengujian kadar COD, TSS, dan TDS.

1. Variabel Tetap : Limbah air lindi, Volume limbah = 50 Liter, reaktor fotofenton
2. Variabel bebas :
  - Waktu Tinggal : 30, 60, 90, 120, 180 menit
  - Rasio molar Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = (1:1), (1:5), (1:10), (1:15), (1:20)
3. Variabel kontrol : pH 3 dan 4

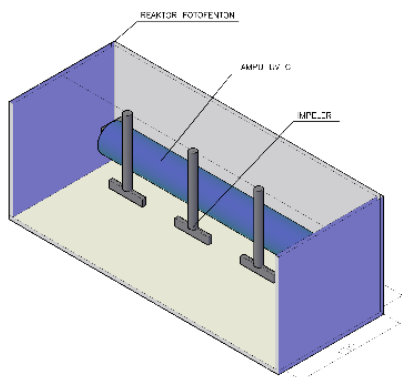
Berikut ini urutan kerja yang dilakukan pada penelitian pendahuluan dan penelitian utama.

1. Air lindi 2 liter masuk ke dalam reaktor, kemudian ditambah koagulan (Al<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 16 gram/jam selama 30 menit kemudian salurkan ke dalam bak penampung selama 15 menit.
2. Kemudian masukkan sampel ke dalam reaktor fotofenton dengan penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 50% sebanyak (45,91 ml, 229,53 ml, 459,06 ml, 688,6 ml, 918,13 ml) yang telah diencerkan menjadi konsentrasi 30%, kemudian penambahan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebanyak (4 ml, 40 ml) dan NaOH 24 gram yang telah dilarutkan ke dalam aquades sebanyak 100mL, kemudian tambahkan 1 gram garam dapur.
3. Sesuaikan pH pada limbah lindi agar proses fotofenton dapat berjalan dengan lancar dan nyalakan lampu UV tipe C.
4. Kemudian lakukan pengadukan dengan kecepatan 200 rpm, dengan waktu kontak (30 menit, 60 menit, 90 menit, 120, menit, dan 180 menit).
5. Kemudian lakukan analisis COD, TSS, dan TDS. Kemudian catat hasil.



REAKTOR FOTOFENTON  
SKALA 1:2

Gambar 1. Reaktor Fotofenton 2 Dimensi



Gambar 2. Reaktor Fotofenton 3 Dimensi

Tabel 1. Karakteristik lindi di TPA belahan tengah

No.	Parameter	Hasil	Satuan
1	COD	608,6	mg/L
2	TSS	5280	mg/L
3	PH	8,29	°C
4	TDS	1925	ppm

Sumber: Analisis Laboratorium, 2022

Pada karakteristik awal ini, dapat diketahui bahwa parameter belum memenuhi baku mutu pada 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.

### 3.2 Penelitian Pendahuluan

Tabel 2. Hasil analisis air lindi pada koagulasi flokulasi

Dosis Koagulan	% Removal TSS	Kadar (mg/L)
16 gram/liter	70%	1600

Berdasarkan Tabel 2, hasil nilai parameter TSS pada dosis koagulan (Al<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> 16 gram/jam dapat menyisihkan TSS sebesar 70%. Dosis koagulan didapatkan dari persamaan berikut.

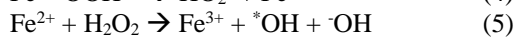
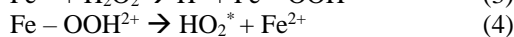
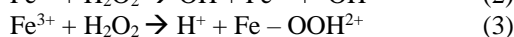
$$V_v = Q \times RS \times (100/C) \times 10^{-3} \quad (1)$$

Di mana :

- V<sub>v</sub> = dosis volumetrik koagulan (liter/jam)
- Q = Laju alir air baku (m<sup>3</sup>)
- RS = Dosis koagulan yang diharapkan (ppm)
- C = Konsentrasi larutan koagulan (%)

### 3.3 Penelitian Utama

Menurut Watt (1998), reagen fenton adalah larutan yang mengandung campuran hidrogen peroksida (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) pada pH asam dan garam besi katalitik [II], yang digunakan sebagai sumber hidroksil (OH<sup>-</sup>) dalam proses fenton. Penggunaan reagen fenton dalam metode ini karena perbandingan massa hidrogen peroksida dengan garam besi [II]. Jumlah garam besi yang dibutuhkan adalah 1/20 sampai 1/5 dari berat hidrogen peroksida. Mekanisme reaksi fenton sangat kompleks, Fe(II) dioksidasi menjadi Fe(III) dengan adanya hidrogen peroksida dalam beberapa menit atau detik (Wang Y, 2018). Hidrogen peroksida diurai oleh besi(III) menghasilkan radikal hidroksil.

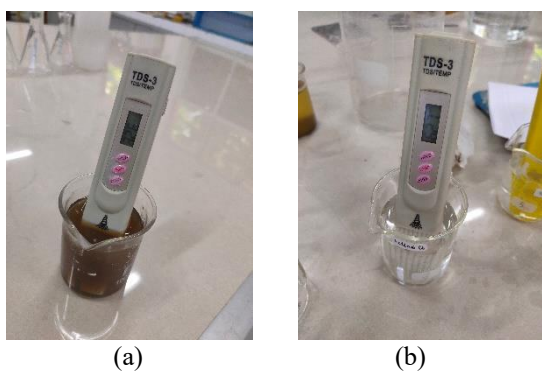


3.3.1. Pengaruh waktu kontak (menit) dan perbandingan rasio molar FeSO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> terhadap penyisihan kadar COD (%)

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

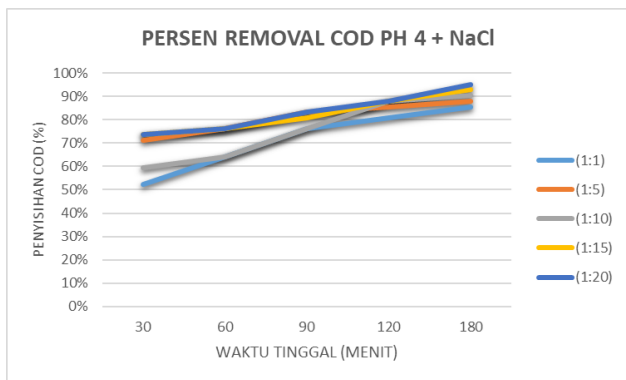
### 3.1 Kandungan Lindi di TPA Belahan Tengah

Hasil pengolahan limbah dengan metode fotofenton sangat dipengaruhi oleh jumlah reagen fotofenton. Setelah melakukan analisis dan pengujian pada parameter COD, TSS, dan TDS terhadap limbah air lindi, terlihat dengan jelas setelah melalui pengolahan dengan metode fotofenton air lindi dengan penambahan NaCl mengalami degradasi warna secara signifikan. Maka dapat dinyatakan secara visual bahwa dengan metode fotofenton efektif untuk digunakan dalam pengolahan air limbah lindi.



Gambar 3. Air Lindi TPA Belahan Tengah: (a) Sebelum Dilakukan Proses Fenton dan (B) Setelah Proses Fotofenton, Menunjukkan Bahwa Proses Fotofenton dapat Menjernihkan Air Lindi secara Signifikan Dilihat secara Visual

Pengaturan pH pada limbah lindi sangat perlu diperhatikan karena pada proses fotofenton, pH yang baik sekitar range 3 sampai 6. Semakin rendah nilai pH pada air limbah maka semakin baik proses fotofenton berlangsung. Pada penelitian kali ini, pH pada proses fotofenton berkisar 3 sampai 4. Berikut merupakan hasil uji kadar COD, TSS, dan TDS pada limbah air lindi di TPA Belahan Tengah.

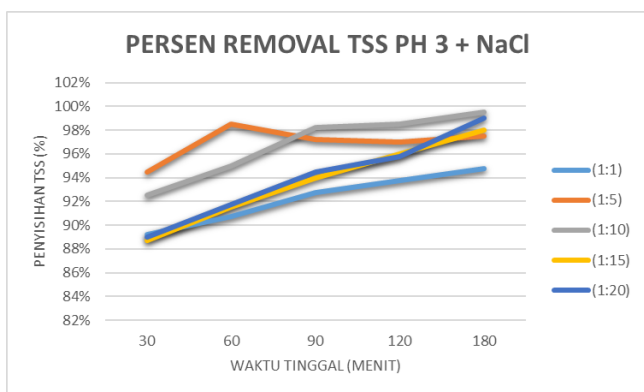


**Gambar 4.** Pengaruh Waktu Kontak (Menit) dan Perbandingan Rasio Molar  $\text{FeSO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$  terhadap Penyisihan Persentase COD (%)

Pada gambar 4 menunjukkan nilai persentase penyisihan COD semakin meningkat, hal ini dikarenakan semakin lama waktu pemaparan atau waktu kontak maka proses fenton akan menghasilkan OH radikal yang semakin banyak sehingga dapat mendegradasi kontaminan dan parameter yang ada pada lindi. Adanya reaksi pembentukan  $\text{OH}^-$  yang lebih banyak daripada ion  $\text{H}^+$  menjadikan proses pH pada proses menyebabkan air menjadi lebih basa sehingga nilai pH menjadi naik.

Proses oksidasi molekul organik dengan reagen fenton terdiri dari dua tahapan proses. Pada tahapan pertama, molekul organik diurai dengan cepat oleh  $\text{OH}^-$  radikal (Babuponnusami and Muthukumar, 2014), selain itu pada proses fotokatalis menghasilkan OH yang didapatkan dari proses eksitasi elektron dengan bantuan cahaya UV sehingga didapatkan penyisihan COD rata-rata pada menit 60 menit pada pH 4 menunjukkan persen penyisihan sebesar 71%.

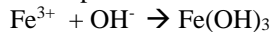
### 3.3.2. Pengaruh waktu kontak (menit) dan perbandingan rasio molar $\text{FeSO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$ terhadap penyisihan persentase TSS (%)



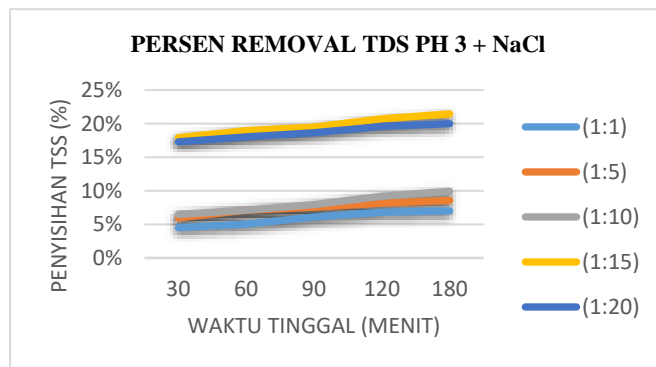
**Gambar 5.** Pengaruh Waktu Kontak (Menit) dan Perbandingan Rasio Molar  $\text{FeSO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$  terhadap Penyisihan Persentase TSS (%)

Pada gambar 5 menunjukkan bahwa nilai persentase TSS meningkat. Hasil terbaik diperoleh pada TSS 16 mg/L dengan rasio molar (1:20) dan waktu tinggal 180 menit. Rasio molar (1:20) pada pH 3 memiliki nilai persentase yang lebih tinggi karena penambahan ion Fe ke sistem fotofenton untuk membentuk  $\text{Fe}^{2+}$  dan  $\text{Fe}^{3+}$ , dengan kelebihan ion  $\text{Fe}^{2+}$  hadir untuk bereaksi dengan radikal hidroksil. Ketika  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dihasilkan pada pH yang mendekati basa, pengendapan ion

besi diendapkan sehingga senyawa organik yang terlarut dalam sistem juga diendapkan bersama dengan pembentukan ion besi  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Pembentukan ion besi dan OH mengikuti reaksi persamaan berikut (Cortez, 2011).



### 3.3.3. Pengaruh waktu kontak (menit) dan perbandingan rasio molar $\text{FeSO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$ terhadap penyisihan persentase TDS (%)



**Gambar 6.** Pengaruh Waktu Kontak (Menit) dan Perbandingan Rasio Molar  $\text{FeSO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$  terhadap Penyisihan Persentase TDS (%)

Pada Gambar 6 nilai laju penyisihan TDS meningkat dengan waktu pemaparan yang lebih lama atau waktu pemaparan yang lebih lama selama pemrosesan menghasilkan lebih banyak radikal OH dan  $\text{O}_2$  untuk mengoksidasi padatan terlarut menjadi partikel yang lebih sederhana, dan proses dapat ditingkatkan. Bandingkan rasio molar (1:15) dengan waktu kontak 180 menit pada pH 3 pada posisi kesetimbangan dengan nilai TDS 756 ppm, yang baik untuk melarutkan padatan terlarut.

### 3.3.4. Analisis parameter COD dengan penambahan NaCl

Analisis parameter COD dari limbah lindi di TPA Belahan Tengah dilakukan dengan melakukan proses fotofenton dengan penambahan NaCl dengan rasio molar  $\text{Fe}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$  yaitu (1:1), (1:5), (1:10), (1:15), (1:20) dan waktu kontak (30 menit, 60 menit, 90 menit, 120, menit, dan 180 menit).

**Tabel 3.** Analisis parameter COD dengan penambahan NaCl

PH	Perbandingan Rasio Molar $\text{FeSO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2$	COD (mg/L)				
		Waktu Tinggal (menit)				
		30	60	90	120	180
4	1 : 1	291	218	145	116	87
	1 : 5	175	145	102	87	73
	1 : 10	247	218	145	73	58
	1 : 15	160	145	116	73	44
	1 : 20	160	145	102	73	29

Sumber: Analisis Laboratorium, 2022

**Tabel 4.** Persentase *removal* COD

PH	Perbandingan Rasio Molar FeSO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Persentase COD (%)				
		Waktu Tinggal (menit)				
		30	60	90	120	180
4	1 : 1	52%	64%	76%	81%	86%
	1 : 5	71%	76%	83%	86%	88%
	1 : 10	59%	64%	76%	88%	90%
	1 : 15	74%	76%	81%	88%	93%
	1 : 20	74%	76%	83%	88%	95%

Sumber: Analisis Laboratorium, 2022

### Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
WAKTU KONTAK	Fixed	5	30; 60; 90; 120; 180
RASIO FeSO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fixed	5	1; 5; 10; 15; 20

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
WAKTU KONTAK	4	0,20287	0,050717	36,92	0,000
RASIO FeSO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	0,04797	0,011993	8,73	0,001
Error	16	0,02198	0,001374		
Total	24	0,27282			

**Gambar 7.** *Analysis of Variance* % Penurunan COD

Pada gambar 7 untuk uji ANOVA dengan nilai  $\alpha$  yaitu 5% atau 0,05, jika nilai *P-value*  $0,00 < \alpha$  5% maka H<sub>0</sub> ditolak dan jika nilai *p-value*  $> \alpha$  maka H<sub>1</sub> ditolak. Pada hasil ANOVA *two-way* di atas terlihat bahwa nilai *p-value* dari waktu kontak dan rasio FeSO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> memiliki nilai *p-value*  $> \alpha$  maka H<sub>1</sub> ditolak sehingga waktu kontak dan rasio Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> memiliki pengaruh terhadap persentase *removal* COD sehingga perlu dilakukan uji statistik lanjutan dari ANOVA *two-way*.

### Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

WAKTU KONTAK	N	Mean	Grouping
180	5	0,903080	A
120	5	0,861381	A B
90	5	0,799241	B
60	5	0,713202	C
30	5	0,660622	C

Means that do not share a letter are significantly different.

**Gambar 8.** *Tukey Method* Waktu Kontak % Penurunan COD

### Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

RASIO FeSO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	N	Mean	Grouping
20	5	0,832261	A
15	5	0,823141	A B
5	5	0,808801	A B
10	5	0,755341	B C
1	5	0,717982	C

Means that do not share a letter are significantly different.

**Gambar 9.** *Tukey Method* Rasio Molar % Penurunan COD

Berdasarkan dari hasil uji lanjutan, dapat diketahui untuk variabel waktu kontak 180 menit merupakan waktu terbaik. Adapun jika dilihat dari nilai *p-value* dan dengan metode *tukey's* juga ada kesamaan nilai mean pada setiap variabel, artinya waktu kontak dapat dikatakan memiliki pengaruh kuat terhadap nilai persen *removal* COD dilihat dari tabel *Grouping information* bahwasanya waktu kontak 30 menit memiliki nilai mean sebesar 0,903080 dan rasio molar Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1:20) merupakan rasio molar terbaik, adapun jika dilihat dari nilai *p-value* dan dengan metode *tukey's* juga ada kesamaan nilai mean pada setiap variabel, artinya rasio molar FeSO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dapat dikatakan memiliki pengaruh kuat terhadap nilai persen *removal* COD dilihat dari tabel *Grouping information* bahwasanya rasio molar FeSO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1:20) memiliki nilai mean sebesar 0,832261.

### 3.3.5. Analisis parameter TSS dengan penambahan NaCl

Analisis parameter TSS dari limbah lindi di TPA Belahan Tengah dilakukan dengan melakukan proses fotofenton dengan penambahan NaCl dengan rasio molar Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yaitu (1:1), (1:5), (1:10), (1:15), (1:20) dan waktu kontak (30 menit, 60 menit, 90 menit, 120, menit, dan 180 menit).

**Tabel 5.** Analisis parameter TSS dengan penambahan NaCl

PH	Perbandingan Rasio Molar FeSO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	TSS (mg/L)				
		Waktu Tinggal (menit)				
		30	60	90	120	180
4	1 : 1	196	148	88	64	36
	1 : 5	176	132	96	64	32
	1 : 10	188	140	92	76	32
	1 : 15	180	156	112	52	16
	1 : 20	188	156	92	40	24

Sumber: Analisis Laboratorium, 2022

**Tabel 6.** Persentase *removal* TSS

PH	Perbandingan Rasio Molar FeSO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Persentase TSS (%)				
		Waktu Tinggal (menit)				
		30	60	90	120	180
4	1 : 1	88%	91%	95%	96%	98%
	1 : 5	89%	92%	94%	96%	98%
	1 : 10	88%	91%	94%	95%	98%
	1 : 15	89%	90%	93%	97%	99%
	1 : 20	88%	90%	94%	98%	99%

Sumber: Analisis Laboratorium, 2022

### Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
WAKTU KONTAK	Fixed	5	30; 60; 90; 120; 180
RASIO FeSO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fixed	5	1; 5; 10; 15; 20

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
WAKTU KONTAK	4	0,031834	0,007958	175,88	0,000
RASIO Fe <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	0,000071	0,000018	0,39	0,811
Error	16	0,000724	0,000045		
Total	24	0,032629			

**Gambar 10.** Analysis of Variance % Penurunan TSS

Pada gambar 10 untuk uji ANOVA dengan nilai  $\alpha$  yaitu 5% atau 0,05, jika nilai *p-value*  $0,00 < \alpha$  5% maka H<sub>0</sub> ditolak dan jika nilai *p-value*  $> \alpha$  maka H<sub>1</sub> ditolak. Pada hasil ANOVA *two-way* diatas terlihat bahwa nilai *p-value* dari waktu kontak dan rasio Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> memiliki nilai *p-value*  $> \alpha$  maka H<sub>1</sub> ditolak sehingga waktu kontak dan rasio FeSO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> memiliki pengaruh terhadap persentase removal TSS sehingga perlu dilakukan uji statistik lanjutan dari ANOVA *two-way*.

#### Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

WAKTU KONTAK	N	Mean	Grouping
180	5	0,9825	A
120	5	0,9630	B
90	5	0,9400	C
60	5	0,9085	D
30	5	0,8840	E

Means that do not share a letter are significantly different.

**Gambar 11.** Tukey Method Waktu Kontak % Penurunan TSS

#### Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

RASIO FeSO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	N	Mean	Grouping
20	5	0,9375	A
5	5	0,9375	A
15	5	0,9355	A
10	5	0,9340	A
1	5	0,9335	A

Means that do not share a letter are significantly different.

**Gambar 12.** Tukey Method Rasio Molar % Penurunan TSS

Berdasarkan dari hasil uji lanjutan, dapat diketahui untuk variabel waktu kontak 180 menit merupakan waktu terbaik, adapun jika dilihat dari nilai *p-value* dan dengan metode tukey's juga ada kesamaan nilai mean pada setiap variabel, artinya waktu kontak dapat dikatakan memiliki pengaruh kuat terhadap nilai persen removal TSS dilihat dari tabel *grouping information* bahwasanya waktu kontak 180 menit memiliki nilai mean sebesar 0,9825 dan rasio molar Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1:20) merupakan rasio molar terbaik, adapun jika dilihat dari nilai *p-value* dan dengan metode tukey's juga ada kesamaan nilai mean pada setiap variabel, artinya rasio molar FeSO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dapat dikatakan memiliki pengaruh kuat terhadap nilai persen removal TSS dilihat dari tabel *Grouping information* bahwasanya rasio molar Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1:20) memiliki nilai mean sebesar 0,9375.

### 3.3.6. Analisis Parameter TDS dengan penambahan NaCl

Analisis parameter TDS dari limbah lindi di TPA Belahan Tengah dilakukan dengan melakukan proses fotofenton dengan penambahan NaCl dengan rasio molar Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> yaitu (1:1), (1:5), (1:10), (1:15), (1:20) dan waktu kontak (30 menit, 60 menit, 90 menit, 120, menit, dan 180 menit).

**Tabel 7.** Analisis parameter TDS dengan penambahan NaCl

PH	Perbandingan Rasio Molar FeSO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	TDS (ppm)				
		Waktu Tinggal (menit)				
		30	60	90	120	180
4	1 : 1	905	893	881	876	866
	1 : 5	893	884	880	875	870
	1 : 10	886	876	867	855	850
	1 : 15	880	878	872	868	861
	1 : 20	875	870	863	857	850

Sumber: Analisis Laboratorium, 2022

**Tabel 8.** Persentase removal TSS

PH	Perbandingan Rasio Molar FeSO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Persentase TDS (%)				
		Waktu Tinggal (menit)				
		30	60	90	120	180
4	1 : 1	53%	54%	54%	54%	55%
	1 : 5	54%	54%	54%	55%	55%
	1 : 10	54%	54%	55%	56%	56%
	1 : 15	54%	54%	55%	55%	55%
	1 : 20	55%	55%	55%	55%	56%

Sumber: Analisis Laboratorium, 2022

### Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
WAKTU KONTAK	Fixed	5	30; 60; 90; 120; 180
RASIO FeSO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fixed	5	1; 5; 10; 15; 20

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
WAKTU KONTAK	4	0,000677	0,000169	44,06	0,000
RASIO FeSO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4	0,000431	0,000108	28,07	0,000
Error	16	0,000061	0,000004		
Total	24	0,001170			

**Gambar 13.** Analysis of Variance % Penurunan TDS

Pada gambar 13 untuk uji ANOVA dengan nilai  $\alpha$  yaitu 5% atau 0,05, jika nilai *p-value*  $0,00 < \alpha$  5%, maka H<sub>0</sub> ditolak dan jika nilai *p-value*  $> \alpha$  maka H<sub>1</sub> ditolak. Pada hasil ANOVA *two-way* di atas terlihat bahwa nilai *p-value* dari waktu kontak dan rasio FeSO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> memiliki nilai *p-value*  $> \alpha$  maka H<sub>1</sub> ditolak sehingga waktu kontak dan rasio Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> memiliki pengaruh terhadap persentase removal TDS sehingga perlu dilakukan uji statistik lanjutan dari ANOVA *two-way*.

#### Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

WAKTU KONTAK	N	Mean	Grouping
180	5	0,553558	A
120	5	0,550026	A B
90	5	0,546701	B
60	5	0,542753	C
30	5	0,538805	D

Means that do not share a letter are significantly different.

**Gambar 14.** Tukey Method Waktu Kontak % Penurunan TDS

### Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

RASIO FeSO <sub>4</sub> : H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> N		Mean Grouping
20	5	0,551688 A
10	5	0,549714 A B
15	5	0,547117 B
5	5	0,542649 C
1	5	0,540675 C

Means that do not share a letter are significantly different.

**Gambar 15.** Tukey Method Rasio Molar % Penurunan TDS

Berdasarkan dari hasil uji lanjutan pada gambar 14, dapat diketahui untuk variabel waktu kontak 180 menit merupakan waktu terbaik, adapun jika dilihat dari nilai *p-value* dan dengan metode tukey's juga ada kesamaan nilai mean pada setiap variabel, artinya waktu kontak dapat dikatakan memiliki pengaruh kuat terhadap nilai persen removal TDS dilihat dari tabel *grouping information* bahwasanya waktu kontak 180 menit memiliki nilai mean sebesar 0,553558 dan rasio molar Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1:20) pada Gambar 15. merupakan rasio molar terbaik, adapun jika dilihat dari nilai *p-value* dan dengan metode tukey's juga ada kesamaan nilai mean pada setiap variabel, artinya rasio molar Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dapat dikatakan memiliki pengaruh kuat terhadap nilai persen removal TDS dilihat dari tabel *grouping information* bahwasanya rasio molar Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1:20) memiliki nilai mean sebesar 0,551688.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa hasil analisis antara persen *removal* COD, TSS, dan TDS (penambahan NaCl) dengan rasio molar Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> menunjukkan bahwa rasio molar Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (1:20) dan waktu kontak 180 menit merupakan rasio molar dan waktu kontak yang terbaik, adapun jika terlihat dari nilai *p-value* dan metode tukey's juga persamaan nilai mean pada setiap variabel artinya rasio molar Fe<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dan waktu kontak dapat dikatakan memiliki pengaruh kuat terhadap nilai persen removal COD, TSS, dan TDS. Efisiensi pada pengolahan lindi menggunakan NaCl sebanyak 1 gram mampu mendegradasi parameter pencemar (COD, TSS, dan TDS) lindi mencapai 50%, 97%, 62%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada staf Laboratorium Air Teknik Lingkungan dalam melakukan kontribusi dalam penelitian ini sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

Babuponnusami, A., & Muthukumar, K. (2014). A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 557-572.

Cortez, S., Teixeira, P., Oliveira, R., & Mota, M. (2011). Evaluation of Fenton and ozone-based advanced oxidation processes as mature landfill leachate pre-treatments. *Journal of environmental management*, 92(3), 749-755.

Dantas, T.L.P, Humberto J.J., and Regina F.P.M. (2003). "Fenton and Photo-Fenton Oxidation of Tannery Wastewater". *Acta Scientiarum Technology*. 25 (1) : 91-95.

Dalimunthe, Juliana, (2007). Penetapan Konsentrasi Tawas dalam Pengolahan Air Sungai Ular. Tugas Akhir. Universitas Sumatera Utara. Medan.

Dhakshinamoorthy A., Alvaro M., Horcajada P., Gibson E., Vishnuvarthan M., Vimont A. (2012). "Comparison of Porous Iron Trimesates Basolite F300 and MIL-100(Fe) as Heterogeneous Catalysts for Lewis Acid and Oxidation Reactions: Roles of Structural Defects and Stability". *ACS Catal* 2 : 2060– 2065.

Dincer, A.R., Karakaya N., Gunes E., and Gunes, Y. (2008). "Removal Of COD From Oil Recovery Industry Wastewater by The Advanced Oxidation Processes (AOP) Based on H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>". *Global NEST Journal*. 10(1) : 31-38.

Effendi, H. (2003). Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta: Penerbit Kanisius

Garnasih, I. (2009). Studi Pendahuluan Potensi Toksisitas & Genotoksisitas Air Lindi Sampah dari TPA Sarimukti Kabupaten Bandung Terhadap Tikus. Tesis Program Pascasarjana Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Hermosilla, D., Cortijo, M., & Huang, C. P. (2009). Optimizing the treatment of landfill leachate by conventional Fenton and photo-Fenton processes. *Science of the Total Environment*, 407(11), 3473-3481.

Li, W., Zhou and Hua, T. (2010). "Removal of Organic Matter from Landfill Leachate by Advanced Oxidation Process: Review". *International Journal of Chemical Engineering*.

Masduqi, A. & A.F. Assomadi, (2012). Operasi & Proses Pengolahan Air Edisi Kedua. ITS Press. Surabaya.

Metcalf dan Eddy. (2003). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. Mc Graw Hill Book Company. New York.

Notodarmojo, S. (2005). *Pencemaran Tanah dan Air Tanah*. Bandung: ITB. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2016.

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 59 Tahun 2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah. Menteri Negara Lingkungan Hidup.

Pulungan, Amanda Desviani. (2012). *Evaluasi Pemberian Dosis Koagulan Aluminium Sulfat Cair dan Bubuk Pada Sistem Dosing Koagulan di Instalasi*

Rao, D.G., Senthilkumar, R., Anthony J.B., Feroz, S. (2012). *Wastewater Treatment: Advanced Processes and Technologies*. CRC Press. United States

Renou, S., Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F., Moulin, P. (2008). "Landfill Leachate Treatment: Review And Opportunity". *J. Hazard. Mater* 150 : 468–493

Riansyah, E., Putu Wesen. (2011). "Pemanfaatan Lindi Sampah Sebagai Pupuk Cair". *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan* 4(1).

Tamas, I. N. (2017). *Proses Fenton pada Pengolahan Lindi TPA Ngipik, Gresik (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember)*.

Said, N. I. (2017). *Teknologi Pengolahan Air Limbah*, Jakarta, Erlangga

Watts, J.R. (1998). *Hazardous Waste: Sources, Pathways, Recycles*. John Willey & Sons, Inc. New York.

- Wang, Q., Liang, S., Zhang, G.S., Su, R.J., Yang, C.Y., Xu, P., Wang, P. (2018). Facile and rapid microwave-assisted preparation of Cu/Fe-AO-PAN fiber for PNP degradation in a photo-Fenton system under visible light irradiation. *Sep. Purif. Technol.* 209, 270–278.
- Weast, R.C. (1977). *Handbook of Chemistry and Physics*. Chicago : CRC Press. Young, M.M., Anderson, W.A. and Chakrabarty A.M. 1995. “Environmental Biotechnology: Principles and Applications”. Kluwer Academic. Dordrecht- Boston- L