

**UJI TOKSISITAS AKUT (LC₅₀-96 JAM) LINDI TPA
TAMBAKRIGADUNG LAMONGAN TERHADAP IKAN ZEBRA (*Danio
rerio*)**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik (S.T) Pada
Program Studi Teknik Lingkungan



Disusun Oleh
NANDA AMALIA SAHRUL
NIM. H05219010

Dosen Pembimbing
Sarita Oktorina, M.Kes
Rr. Diah Nugraheni Setyowati, M.T.

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA
2023**

PERNYATAAN KEASLIAN

Nama : Nanda Amalia Sahrul
Nim : H05219010
Program Studi : Teknik Lingkungan
Angkatan : 2019

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiasi dalam penulisan tugas akhir saya yang berjudul “**UJI TOKSISITAS AKUT (LC₅₀-96 JAM) LINDI TPA TAMBAKRIGADUNG LAMONGAN TERHADAP IKAN ZEBRA (*Danio rerio*)**”. Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 14 Juli 2023

Yang menyatakan



(Nanda Amalia Sahrul)
NIM.H05219010



UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031 - 8410298 Fax. 031 - 8413300

E-Mail : saintek@uinsby.ac.id Website : www.uinsby.ac.id

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING
SIDANG TUGAS AKHIR

Nama : Nanda Amalia Sahrul
NIM : H05219010
Judul Tugas Akhir : Uji Toksisitas Akut (LC50 - 96 Jam) Lindi TPA
Tambakrigadung Lamongan Terhadap Ikan Zebra (*Danio rerio*)

Telah disetujui untuk pendaftaran Sidang Tugas Akhir

Surabaya, 26 Juni 2023

Dosen Pembimbing 1

Sarita Oktorina, M.Kes
NIP. 198710052014032003

Dosen Pembimbing 2

Rr. Diah Nugraheni Setvowati, M.T.
NIP. 198205012014032001

PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG AKHIR

Nama : Nanda Amalia Sahrul
NIM : H05219010
Judul : Uji Toksisitas Akut (LC₅₀-96 Jam) Lindi TPA Tambakrigadung Lamongan Terhadap Ikan Zebra (*Danio rerio*)

Telah dipertahankan di depan tim penguji Skripsi

Di Surabaya, 5 Juli 2023

Mengesahkan,
Dewan Penguji,

Penguji I



Sarita Oktorina, M.Kes
NIP. 198710052014032003

Penguji II



Rr. Diah Nugraheni Setyowati, M.T.
NIP. 198205012014032001

Penguji III



Dedy Suprayogi, S.KM., M.KL.
NIP. 198512112014031002

Penguji IV



Arqowi Pribadi, M.Eng
NIP. 198701032014031001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Suwan Ampel Surabaya



Saeput Hamdani, M.Pd.
NIP. 196507312000031002

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : NANDA AMALIA SAHRUL
NIM : H05219010
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI / TEKNIK LINGKUNGAN
E-mail address : nandaamaliasahrul@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah:

Skripsi Tesis Desertasi Lain-lain (.....)
yang berjudul:

UJI TOKSISITAS AKUT (LC₅₀-96 JAM) LINDI TPA TAMBAKRIGADUNG

LAMONGAN TERHADAP IKAN ZEBRA (*Danio rerio*)

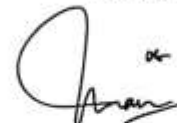
beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 14 Juli 2023

Penulis



(Nanda Amalia Sahrul)

ABSTRAK

Uji Toksisitas Akut (LC₅₀-96 Jam) Lindi TPA Tambakrigadung Lamongan Terhadap Ikan Zebra (*Danio rerio*)

Proses modernisasi disegala bidang menyebabkan meningkatnya timbulan sampah, yang semakin hari semakin bertambah. Peningkatan produksi sampah dapat menyebabkan peningkatan volume lindi yang dihasilkan sebagai limbah operasional TPA. Secara umum lindi bersifat toksik karena tingginya kandungan mikroorganisme, kandungan logam berat yang membahayakan lingkungan jika terpapar, serta faktor lainnya. Kandungan effluent TPA Tambakrigadung melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh PerMen LHK RI Nomor 59 Tahun 2016. Bila pengolahan lindi kurang maksimal dapat menimbulkan efek negatif bagi lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai LC₅₀ dan klasifikasi toksisitas pada lindi di TPA Tambakrigadung. Hewan coba yang digunakan dalam uji toksisitas akut ini mengacu pada OECD No. 203 tahun 2019 yaitu ikan zebra (*Danio rerio*) dengan panjang antara 1-2 cm. Metode penelitian dalam penelitian ini adalah kuantitatif eksperimental. Dalam penelitian ini terdapat 3 tahap yaitu aklimatisasi, *range finding test*, dan uji toksisitas akut. Pada tahap *range finding test* konsentrasi yang digunakan yaitu 0%, 6%, 12%, 24%, 48%, dan 96%. Kemudian pada tahap uji toksisitas akut konsentrasi toksikan diperkecil menjadi 0%; 6,84%; 7,80%; 8,89%; 10,13%; dan 11,55%. Nilai LC₅₀ dihitung dengan metode analisis probit menggunakan software SPSS. Hasil penelitian didapatkan nilai LC₅₀-96 jam effluent TPA Tambakrigadung sebesar 7,836% dengan nilai TUa sebesar 12,76. Dapat disimpulkan bahwa nilai tersebut termasuk dalam kategori IV yang menunjukkan bahwa effluent UPL lindi dalam klasifikasi *High Acute Toxicity*.

Kata Kunci: Uji Toksisitas Akut, LC₅₀, Lindi TPA, Ikan Zebra

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

ABSTRACT

Acute Toxicity Test (LC₅₀-96 Hours) of MWT Tambakrigadung Lamongan Leachate on Zebra Fish (Danio rerio)

The process of modernization in all fields causes an increase in waste generation, which is increasing day by day. An increase in waste products can lead to an increase in the volume of leachate produced as MWT operational waste. In general, leachate is toxic because of the high content of microorganisms, and heavy metal content, which is harmful to the environment if exposed, as well as other factors. The effluent content of MWT Tambakrigadung exceeds the quality standards set by the PerMen LHK RI Number 59 of 2016. If the leachate treatment is not optimal, it can adversely affect the environment. So it is necessary to do an acute toxicity test (LC₅₀-96 hours) to determine the leachate's LC₅₀ value and toxicity classification. The fish used in the acute toxicity test refers to OECD No. 203 of 2019, namely zebrafish (Danio rerio) with a 1-2 cm length. The research method in this research is experimental research. This study had three stages: acclimatization, range finding test, and acute toxicity test. At the range finding test stage, the concentrations used were 0%, 6%, 12%, 24%, 48%, and 96%. Then in the acute toxicity test stage, the concentration of the toxicant was reduced to 0%; 6.84%; 7.80%; 8.89%; 10.13%; and 11.55%. The LC₅₀ value was calculated using the probit analysis method using SPSS software. The results showed that the LC₅₀-96 hour effluent of MWT Tambakrigadung was 7.836% with a TUa value of 12.76. It can be concluded that this value is included in category IV, which indicates that the leachate UPL effluent is in the classification of high toxicity level.

Keywords: *Acute Toxicity Test, LC₅₀, Leachate MWT, Zebrafish*

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN TIM PENGUJI SIDANG AKHIR	iii
LEMBAR PERNYATAAN PERSET	iv
HALAMAN MOTTO	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)	6
2.2 Lindi	6
2.3 Baku Mutu Limbah Lindi	7
2.4 Karakteristik Lindi	7
2.5 Parameter Kualitas Lindi	7
2.6 Dampak Pencemaran Limbah Lindi	10

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Lindi	7
Tabel 2. 2 Klasifikasi Lethal Dose 50	13
Tabel 2. 3 Klasifikasi Tingkat Toksisitas Akut.....	14
Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu.....	20
Tabel 3. 1 Waktu Penelitian	26
Tabel 3. 2 Alat Penelitian	28
Tabel 3. 3 Bahan Penelitian.....	30
Tabel 3. 4 Kelayakan Ikan Pada Tahap Aklimatisasi.....	34
Tabel 4. 1 Hasil Analisis Kandungan Lindi pada Tahap Range Finding Test	43
Tabel 4. 2 Variasi Konsentrasi Limbah pada Tahap Range Finding Test.....	44
Tabel 4. 3 Kandungan Lindi pada Variasi Range Finding Test	45
Tabel 4. 4 Nilai pH Pada Tahap Range Finding Test.....	47
Tabel 4. 5 Nilai Suhu Pada Tahap Range Finding Test	48
Tabel 4. 6 Nilai DO Pada Tahap Range Finding Test.....	49
Tabel 4. 7 Hasil Analisis Kandungan Lindi pada Tahap Uji Toksisitas Akut	55
Tabel 4. 8 Variasi Konsentrasi Limbah pada Tahap Range Finding Test.....	56
Tabel 4. 9 Kandungan Lindi pada Variasi Uji Toksisitas Akut	57
Tabel 4. 10 Nilai pH Pada Tahap Uji Toksisitas Akut.....	59
Tabel 4. 11 Nilai Suhu Pada Tahap Uji Toksisitas Akut.....	60
Tabel 4. 12 Nilai DO Pada Tahap Uji Toksisitas Akut	61
Tabel 4. 13 Nilai LC ₅₀ Pada SPSS	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ikan Zebra.....	15
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian	27
Gambar 3. 2 Tahapan penelitian.....	31
Gambar 3. 3 Kerangka pikir penelitian	33
Gambar 3. 4 Reaktor.....	35
Gambar 4. 1 Grafik Nilai pH Air Pada Tahap Aklimatisasi.....	39
Gambar 4. 2 Grafik Nilai Suhu Air Pada Tahap Aklimatisasi	40
Gambar 4. 3 Grafik Nilai DO Air Pada Tahap Aklimatisasi.....	41
Gambar 4. 4 Grafik Mortalitas Ikan Pada Tahap Aklimatisasi	41
Gambar 4. 5 Grafik Mortalitas Ikan Pada Tahap Range Finding Test.....	46
Gambar 4. 6 Kandungan BOD Pada Tahap Range Finding Test.....	50
Gambar 4. 7 Kandungan COD Pada Tahap Range Finding Test.....	52
Gambar 4. 8 Kandungan TSS Pada Tahap Range Finding Test.....	53
Gambar 4. 9 Kandungan N-Total Pada Tahap Range Finding Test.....	54
Gambar 4. 10 Grafik Mortalitas Ikan Pada Uji Toksisitas Akut	58
Gambar 4. 11 Kandungan BOD Pada Tahap Uji Toksisitas Akut	61
Gambar 4. 12 Kandungan COD Pada Tahap Uji Toksisitas Akut	63
Gambar 4. 13 Kandungan TSS Pada Tahap Uji Toksisitas Akut.....	64
Gambar 4. 14 Kandungan N-Total Pada Tahap Uji Toksisitas Akut.....	65
Gambar 4.15 Grafik Kadar Toksikan Tiap Konsentrasi Pada Tahap Uji Toksisitas Akut.....	66
Gambar 4. 16 Data Konsentrasi, Mortalitas, dan Total Pada SPSS	67
Gambar 4. 17 Langkah-Langkah SPSS Probit	68
Gambar 4. 18 Langkah-Langkah SPSS Pada Dialog Box Probit Analysis.....	68
Gambar 4. 19 Langkah-Langkah SPSS Pada Options Probit Analysis.....	69
Gambar III- 1 Lokasi Pengambilan Sampel	107
Gambar III- 2 Pengambilan Sampel Lindi.....	107
Gambar III- 3 Tahap Aklimatisasi	107
Gambar III- 4 Pengukuran pH dan Suhu Tahap Aklimatisasi.....	108
Gambar III- 5 Pengukuran DO Tahap Aklimatisasi	108
Gambar III- 6 Ukuran Biota Uji.....	108

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses modernisasi disegala bidang menyebabkan meningkatnya timbulan sampah, yang pada akhirnya menimbulkan penumpukan sampah yang semakin hari semakin bertambah. Peningkatan produksi sampah dapat menyebabkan peningkatan volume dan debit lindi (*leachate*) yang dihasilkan sebagai limbah operasional TPA.

Timbulan sampah di TPA Tambakrigadung mengalami peningkatan disetiap tahunnya, seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk Kabupaten Lamongan setiap tahun. Dari tahun 2018 sampai 2020 volume sampah di Kabupaten Lamongan terus meningkat. Jumlah timbulan sampah pada tahun 2018 mencapai 2.738,92 m³/hari, kemudian tahun 2019 menjadi 2.760,28 m³/hari dan pada tahun 2020 meningkat menjadi 2.781,81 m³/hari. Hal ini menunjukkan bahwa timbulan sampah di TPA Tambakrigadung Kabupaten Lamongan setiap tahunnya mengalami peningkatan (Widyaningyun & Tukiman, 2022).

TPA Tambakrigadung merupakan sarana tempat pembuangan akhir sampah yang terletak di Desa Tambakrigadung, Kecamatan Tikung, Kabupaten Lamongan yang menerapkan metode semi *sanitary landfill*. Lindi (*leachate*) merupakan cairan yang dihasilkan dari tumpukan sampah yang bercampur dengan air hujan. Apabila lindi tidak diolah dengan baik akan mencemari lingkungan di sekitarnya. Secara umum lindi bersifat toksik karena tingginya kandungan mikroorganisme, kandungan logam berat yang membahayakan lingkungan jika terpapar, serta faktor lainnya. Lindi disebut sebagai polutan karena terdapat beragam jenis sampah yang terbuang sehingga menimbulkan pencemaran pada air tanah dangkal yang sangat berbahaya (Rajoo *et al.*, 2020).

Lindi merupakan salah satu penyebab air tercemar. Pencemaran lindi memiliki risiko yang sangat serius terhadap perairan (Siddiqi *et al.*, 2022). Umumnya, suhu air yang tercemar lindi lebih tinggi dari air yang tidak terkontaminasi lindi. Hal ini akan mengurangi oksigen terlarut dalam air, mempercepat reaksi kimia dalam air, serta mempercepat pengaruh bau dan rasa (Herlina, 2013). Semakin banyak volume lindi yang mengalir ke dalam tanah akan mencemari air permukaan dan akhirnya menyebabkan sumur-sumur dangkal tercemar. Terkontaminasinya sumber air tanah dangkal oleh kandungan zat kimia dalam lindi yang berkonsentrasi tinggi seperti BOD, COD, pH, amonia, nitrat, nitrit, kalsium, kalium, magnesium, kesadahan, klorida, sulfat, akan menyebabkan terganggunya kehidupan makhluk hidup di sekitar TPA (Faradisha, dkk., 2015). Air bawah permukaan yang tercemar akibat lindi berpengaruh terhadap kesehatan warga terutama yang bermukim di sekitar TPA. Lindi dapat memberikan dampak buruk terhadap warga sekitar karena TPA Tambakrigadung berada tidak jauh dari pemukiman warga, sawah, serta dekat dengan aliran Sungai Bengawan Solo sehingga berpotensi membahayakan biota yang ada di dalamnya. Lindi yang berada di aliran Sungai Bengawan Solo berpotensi mencemari sumber air bersih domestik dan saluran irigasi, sehingga kondisi ini akan menyebabkan penurunan produksi pertanian. Pengaruh pencemaran lindi terhadap lingkungan di sekitar TPA Tambakrigadung yaitu pada perubahan sifat fisik air, rasa, bau, suhu air, dan kekeruhan.

Lindi (*leachate*) memiliki karakteristik yang bervariasi tergantung dari proses yang terjadi di dalam *landfill* yang meliputi proses fisik, kimia dan biologi. Secara umum, parameter pH, BOD, COD, padatan tersuspensi, dan amonia digunakan untuk menentukan kualitas lindi. Kualitas lindi dipantau karena mengandung logam berat yang dapat menimbulkan peningkatan akumulasi toksisitas pada makhluk hidup (Miaoa *et al.*, 2019). Logam berat merupakan polutan berbahaya karena bersifat toksik bila berada dalam konsentrasi tinggi dan memiliki efek

negatif terhadap berbagai aspek biologi dan ekologi perairan (Azizah & Maslahat, 2021).

Allah SWT telah berfirman pada QS. Al-A'raf ayat 56:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: *"Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diciptakan dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat kebaikan."*

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah SWT melarang melakukan hal-hal yang dapat menimbulkan kerusakan di muka bumi dan yang membahayakan kelestariannya setelah dilakukan perbaikan. Imam Ibnu Katsir menjelaskan bahwa perbuatan yang merusak bumi akan membahayakan seluruh hamba Allah SWT. Keberadaan zat-zat kimia memungkinkan dalam lingkungan perairan. Saluran irigasi di Desa Tambakrigadung diperkirakan terpapar oleh lindi yang mengandung zat kimia yang bersifat toksik. Di sisi lain, saluran irigasi tersebut dimanfaatkan untuk kegiatan pertanian. Selama ini TPA Tambakrigadung Lamongan melakukan pemantauan lindi berdasarkan pada aspek fisika dan kimia saja. Namun pemantauan tersebut belum mengetahui tingkat racun dalam kualitas air lindi yang perlu diperhatikan sebelum dialirkan ke badan air. Maka perlu dilakukan pemantauan secara biologi terhadap air lindi melalui uji toksisitas.

Uji toksisitas akuatik adalah metode yang cukup akurat untuk memperkirakan tingkat risiko yang disebabkan oleh zat yang terkandung dalam limbah. Nilai LC₅₀ (*median lethal concentration*) atau toksisitas akut menunjukkan toksisitas suatu air limbah. Organisme yang dapat digunakan untuk uji toksisitas suatu zat berbahaya sebelum masuk ke badan air adalah ikan. Ikan yang digunakan dalam uji toksisitas akut mengacu pada OECD No. 203 tahun 2019 yaitu ikan zebra (*Danio rerio*).

Ikan zebra adalah organisme yang multiguna karena telah digunakan dalam studi tentang toksikologi, farmakologi, ekspresi gen, kanker, ilmu saraf, neurologi, dan penyuntingan genom (Roxo-Rosa *et al.*, 2020). Sekitar 70% DNA Ikan zebra sama dengan manusia, sehingga dapat menunjukkan efek paparan zat toksik pada manusia (Dewanti dkk., 2015), tahapan perkembangan organ tidak membutuhkan banyak waktu, serta struktur tubuh transparan sehingga lebih mudah diamati (Besu & Sachidanandan, 2013).

Dari kasus pencemaran air yang telah terjadi yang dapat mengganggu dan merusak keseimbangan ekosistem di perairan maka perlu dilakukan uji toksisitas akut (LC₅₀-96 jam) untuk mengetahui nilai LC₅₀ dan klasifikasi toksisitas pada konsentrasi tertentu dari lindi TPA terhadap kelangsungan hidup Ikan zebra (*Danio rerio*).

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Berapa nilai *Lethal Concentration* (LC₅₀) lindi TPA Tambakrigadung terhadap ikan zebra (*Danio rerio*)?
2. Bagaimana klasifikasi toksisitas lindi TPA Tambakrigadung terhadap ikan zebra (*Danio rerio*)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis nilai *Lethal Concentration* (LC₅₀) lindi TPA Tambakrigadung terhadap ikan zebra (*Danio rerio*).
2. Untuk menganalisis klasifikasi toksisitas lindi TPA Tambakrigadung terhadap ikan zebra (*Danio rerio*).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang didapatkan dari penelitian sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti

Mengetahui nilai toksisitas dan tingkat bahaya air lindi TPA terhadap Ikan zebra (*Danio rerio*).

2. Bagi TPA

Memberikan informasi apabila pihak TPA tidak mengolah lindi dengan maksimal akan menimbulkan pencemaran pada lingkungan perairan dan berbahaya bagi ekosistem perairan.

3. Bagi Masyarakat

Memberikan informasi bahwa pembuangan lindi dapat menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan apabila pengolahannya kurang maksimal.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini meliputi:

1. Pelaksanaan penelitian menggunakan laboratorium pada Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya.
2. Uji toksisitas akut menggunakan ikan zebra (*Danio rerio*) dengan waktu pengamatan selama 96 jam.
3. Penelitian menggunakan air lindi yang diambil dari TPA Tambakrigadung Lamongan.
4. Parameter yang diuji adalah pH, BOD, COD, TSS, serta N-Total.
5. Analisis menggunakan metode regresi probit untuk menentukan nilai LC_{50-96} jam dengan mengamati 50% kematian biota uji yang disebabkan oleh toksikan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah, Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) adalah tempat untuk mengolah sampah dan dikembalikan ke lingkungan dengan cara yang aman untuk manusia dan lingkungan. Definisi tersebut menjelaskan bahwa TPA merupakan tempat akhir sampah mengalami pengolahan yang akan dikembalikan ke lingkungan secara aman. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) didefinisikan sebagai sebuah tempat proses terakhir pengelolaan sampah hingga mulai dihasilkan dari sumber serta pengangkutan, pemindahan, pembuangan sampah. Selain itu, TPA juga sebagai tempat pengisolasian sampah secara terstruktur dan aman sehingga tidak menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan sekitarnya (Gaol, 2017).

2.2 Lindi

Definisi lindi (*leachate*) menurut Tchobanoglous (1993) adalah cairan yang dihasilkan selama penguraian sampah yang mensuspensikan dan melarutkan bahan organik. Selain dari proses penguraian, lindi dihasilkan dari faktor eksternal seperti air hujan, air permukaan, serta air tanah. Menurut Damanhuri (2010) lindi merupakan limbah cair yang dihasilkan dari air yang masuk ke tumpukan sampah, melarutkan serta membilas bahan terlarut, termasuk bahan organik dari proses penguraian biologis di TPA. Berdasarkan 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, lindi didefinisikan sebagai cairan yang terbentuk akibat masuknya air dari luar ke tumpukan sampah, membilas dan melarutkan bahan-bahan terlarut, termasuk bahan organik hasil proses pembusukan secara biologi.

2.3 Baku Mutu Limbah Lindi

Kualitas air lindi diketahui dengan membandingkan kadar parameter dengan baku mutu yang berlaku. Berdasarkan 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, batas maksimum lindi adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Baku Mutu Lindi

Parameter	Kadar Paling Tinggi	
	Nilai	Satuan
pH	6 – 9	-
BOD	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: (Peraturan Menteri LHK No. 59 Tahun 2016)

2.4 Karakteristik Lindi

Lindi adalah air limbah berkonsentrasi tinggi yang komposisinya bervariasi karena dipengaruhi oleh karakteristik sampah organik dan anorganik, dekomposisi, umur, suhu, pH, kelembaban, karakteristik sumber air yang dipengaruhi oleh iklim dan hidrogeologi, karakteristik tanah penutup, ketersediaan unsur hara dan mikroba serta keberadaan inhibitor (Wati, 2022). Secara umum, karakteristik lindi meliputi tingkat kadar BOD dan COD tinggi, nitrogen yang tinggi, banyak mineral yang dilarutkan oleh aliran lindi sehingga daya hantarnya menjadi tinggi, kandungan logam berat tinggi disebabkan oleh pH lindi yang asam dan dapat melarutkan logam berat yang tercampur pada sampah, warna coklat muda sampai hitam yang sukar dihilangkan (Said & Hartaja, 2018).

2.5 Parameter Kualitas Lindi

a. *Biological Oxygen Demand* (BOD)

BOD adalah jumlah oksigen yang diperlukan oleh bakteri untuk menguraikan bahan organik. BOD digunakan untuk menghitung beban pencemaran terhadap air limbah domestik maupun limbah

industri dalam merencanakan sistem pengolahan air dan limbah (Arif, dkk., 2022).

b. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi menjadi bahan anorganik. COD menggambarkan total oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi material organik di perairan, menjadi CO_2 dan H_2O . Selain itu, COD juga menggambarkan secara umum tentang kuantitas total material organik yang mudah terurai dan sukar terurai (Ramadhani, dkk., 2019). Perairan yang memiliki kadar COD yang tinggi tidak dapat dimanfaatkan untuk kegiatan perikanan dan pertanian (Effendi, 2003).

c. *Total Suspended Solid (TSS)*

TSS adalah jumlah bahan padatan tersuspensi dalam suatu volume cair tertentu. TSS menggambarkan jumlah kepekatan padatan dalam sampel air (Kurniati & Mujiburohman, 2020). Total padatan tersuspensi didefinisikan sebagai material tersuspensi dengan diameter $> 1\mu\text{m}$ yang tertahan oleh saringan *milipore* dengan diameter pori $0,45\mu\text{m}$. TSS terdiri dari lumpur dan partikel-partikel yang ukurannya lebih kecil dari sedimen (Ramadhani, dkk., 2019).

d. Nitrogen Total (N Total)

Nitrogen total adalah jumlah total nitrogen yang ada dalam air lindi. Sebagian besar jenis air mengandung nitrogen. N total dalam air lindi umumnya dalam bentuk amonia dan bahan organik atau protein. Terdapat empat spesifikasi bentuk nitrogen dalam air lindi yang meliputi nitrogen amonia, nitrogen organik, nitrogen nitrat serta nitrogen nitrit. Nitrogen dalam air lindi akan menimbulkan dampak tergantung dengan kadar kandungan nitrogen (Ramadhani, dkk., 2019). Amonia (NH_3), Nitrat (NO_3) dan Nitrit (NO_2) sangat berpengaruh terhadap kualitas suatu badan air. Siklus-siklus nitrogen yang terjadi dalam suatu badan air mengkonsumsi paling banyak oksigen terlarut dibandingkan dengan reaksi-reaksi biokimia lain yang terjadi dalam air. Keberadaan nitrogen dalam bentuk

persenyawaannya berperan dalam proses memperburuk kualitas perairan, sebab dalam batas-batas konsentrasi dan bentuk tertentu senyawa ini dapat bersifat racun bagi organisme perairan (Safria & Perdana, 2022).

e. Merkuri (Hg)

Merkuri merupakan unsur kimia dengan simbol Hg berisotop 202 serta memiliki nomor atom 80 dengan waktu paruh 444 tahun. Sumber utama merkuri ialah bentuk gas yang berasal dari kulit bumi termasuk sungai, lautan dan daratan, serta diestimasi jumlah per tahun sebesar 25.000 hingga 150.000 ton. Jika dikonsumsi melebihi batas nilai, merkuri (Hg) dapat merusak sistem darah, melemahkan sistem saraf pusat, ginjal, paru-paru, serta organ vital lainnya. Merkuri (Hg) terdapat dalam 2 bentuk yaitu organik dan anorganik. Merkuri anorganik di lingkungan akan diubah menjadi merkuri organik dalam bentuk metilmerkuri dan dimethylmerkuri yang membahayakan organisme sekitar seperti ikan dan manusia (Okpala *et al.*, 2018). Merkuri diklasifikasikan menjadi 3 bentuk berdasarkan sifat toksikologinya yaitu elemen merkuri, senyawa organik merkuri, serta anorganik merkuri. Merkuri dapat mengalami perubahan di dalam lingkungan baik dalam bentuk organik dan anorganik.

Pencemaran merkuri (Hg) yang tinggi berpotensi menimbulkan risiko terhadap keamanan pangan, karena dapat membahayakan kesehatan manusia. Ikan yang berada di perairan akan terpapar merkuri dan akan dikonsumsi oleh manusia kemudian manusia mengakumulasi merkuri dalam tubuhnya. Kandungan merkuri dalam ikan berdampak terhadap otak, karena otak yang sedang berkembang sensitif terhadap efek bahaya dari merkuri. Merkuri sering masuk ke dalam lingkungan melalui proses pembuangan limbah rumah tangga dan beberapa industri (baterai, termometer, barometer, thermostat, lampu-lampu infloresen, produk-produk medis, dan lain sebagainya), pembakaran hutan, pembakaran sisa-sisa limbah rumah tangga di

tempat pembuangan sampah terutama di perkotaan dan peleburan. (Sembel, 2015).

f. Kadmium (Cd)

Kadmium adalah unsur kimia dengan lambang Cd berisotop 8 serta atom jumlah atom sebesar 48. Kadmium berbentuk agak lunak, berwarna metal biru-putih yang hampir sama dengan merkuri dan seng. Kadmium (Cd) merupakan jenis logam berat yang berbahaya karena unsur ini berpengaruh terhadap manusia dalam jangka waktu panjang dan dapat terakumulasi pada tubuh khususnya hati dan ginjal, serta berisiko tinggi pada pembuluh darah (Palar, 2004). Efek kadmium yang unik terhadap anak-anak yaitu dapat meningkatkan perkembangan otak. Di sisi lain, kadmium memiliki efek buruk pada usia dewasa, seperti meningkatkan kemungkinan penyakit jantung, kanker payudara, dan penyakit paru-paru atau kardiovaskular. Logam kadmium mengalami proses bioakumulasi dan biotransformasi dalam makhluk hidup. Dalam tubuh biota akuatik akan mengalami peningkatan jumlah logam secara terus menerus (biomagnifikasi). Dalam rantai makanan, organisme tertinggi yang akan mengalami akumulasi kadmium lebih banyak (Palar, 2004). Kadmium dapat menumpuk di tubuh manusia dan membutuhkan waktu antara 20-30 tahun untuk keluar dari tubuh. Dampak dalam tubuh mulai dari hipertensi sampai kanker (Watts, 1997).

2.6 Dampak Pencemaran Limbah Lindi

Lindi TPA dapat menyebabkan dampak buruk pada kesehatan manusia, lingkungan serta biota di perairan karena mengandung berbagai senyawa kimia organik, anorganik, bakteri patogen, mengandung amonia, timbal serta mikroba parasite (Susanto *et al.*, 2004). Terjadi pencemaran lindi dari TPA pada sawah dan kolam di Kelurahan Tamansari dan Mugasari sebanyak 28 kolam yang berada di wilayah tersebut yang mengalir ke sungai Cipakaran sehingga mencemari kolam yang berada di Kampung Cikeudang, Sirnagalih dan Kampung Mugasari. Pada musim hujan, air larian (*run-off*) dari TPA menyebabkan banjir lindi yang

mencemari kolam milik petani Kelurahan Mugarsari. Selain itu, dampak lain apabila lindi masuk ke dalam tanah, dapat memperburuk kualitas air sumur dan mengakibatkan masalah pada kesehatan. Pada lahan yang terletak di kemiringan menyebabkan aliran air menjadi cepat, sehingga dapat mencemari sumur pada pemukiman yang terletak pada elevasi yang lebih rendah. Pencemaran lindi juga dapat terjadi apabila pengelolaan yang belum memenuhi syarat untuk pembuangan ke badan air, terutama air permukaan yang dengan mudah mengalami kekurangan oksigen terlarut sehingga dapat menyebabkan mortalitas pada biota. Air lindi yang terpapar di tanah dalam volume tinggi dapat menyerap hingga menyentuh pori-pori tanah. Tumbuhan dan hewan yang berada pada ekosistem perairan berpotensi mengalami kematian karena limbah ini dapat mengubah komposisi dari badan air. Keseimbangan ekosistem dapat terganggu apabila lindi mengandung zat beracun serta dapat berpotensi memiliki dampak jangka panjang seperti krisis air tanah dan kepunahan suatu spesies (Wati, 2022). Selain itu, dampak yang dirasakan oleh warga yang berada di sekitar lokasi TPA yaitu masyarakat merasakan penyakit seperti demam, diare, penyakit kulit, dan ispa. Jika pada musim hujan, warga terkontaminasi dengan bau sampah yang lebih menyengat dari biasanya (Busanto & Rahmadyanti, 2021).

2.7 Toksikologi

Toksikologi adalah suatu bidang ilmu yang mempelajari dampak bahaya yang ditimbulkan dari bahan-bahan kimia pada makhluk hidup. Toksikologi juga mempelajari bagian organ yang paling rentan terhadap kerusakan akibat racun ketika masuk ke dalam tubuh dari biota uji. Toksikologi dipengaruhi oleh beberapa faktor, meliputi jenis, komposisi, konsentrasi, waktu dan frekuensi paparan toksikan, sifat lingkungan, serta spesies biota penerima (USEPA, 2002).

2.7.1 Toksikan

Toksikan adalah zat (berdiri sendiri atau campuran dengan zat lain, serta limbah) yang dapat menyebabkan kerusakan struktur maupun fungsi biologis pada sebagian tingkat organisasi biologis

(sel, jaringan, organ, individu, populasi, biomolekul). Toksikan dapat menimbulkan efek negatif secara akut maupun kronis atau sub kronis bagi biota berupa perubahan struktur serta fungsional (Rohmani, 2014).

2.7.2 Toksisitas

Toksisitas merupakan suatu sifat relatif dari bahan kimia yang berpotensi membahayakan makhluk hidup secara langsung ataupun tidak langsung. Toksisitas bertujuan untuk menentukan risiko toksikan pada biota uji serta dapat menentukan risiko terhadap ekosistem perairan (Rachmah, 2020). Uji toksisitas ialah salah satu bentuk monitoring penelitian toksikologi perairan secara biologi. Tujuan uji toksisitas adalah untuk mengetahui apakah terdapat zat beracun dalam limbah yang masuk ke badan air penerima pada konsentrasi tertentu yang menyebabkan kematian hewan uji, yang ditunjukkan dengan angka LC₅₀. Uji toksisitas dikelompokkan menjadi dua yaitu akut dan kronis.

A. Toksisitas Akut

Uji toksisitas akut menggunakan biota uji adalah suatu bentuk penelitian toksikologi perairan yang bertujuan untuk menganalisis apakah badan air penerima mengandung zat beracun pada kadar yang menyebabkan toksisitas akut. Toksisitas akut suatu effluent kebanyakan dinilai menggunakan multi konsentrasi yang mencakup kontrol serta minimum lima konsentrasi effluent yang bervariasi. Biota uji dan pengenceran limbah digunakan pada uji toksisitas akut, kemudian diperoleh data mortalitas biota uji selama jangka waktu 96 jam. Hasil analisa ini dapat ditinjau dari perbandingan persentase kematian biota uji sesuai konsentrasi limbah yang digunakan, sehingga dapat dibedakan antara mortalitas biota uji yang terkena efek toksik maupun tidak terkena efek toksik (Rohmani, 2014). Suatu zat dianggap toksik akut jika dalam jangka pendek sekitar 96

Tabel 2. 3 Klasifikasi Tingkat Toksisitas Akut

TU	Classification	Toxicity
$TU < 0.4$	I	<i>no acute toxicity (NT)</i>
$0.4 \leq TU < 1$	II	<i>slight acute toxicity (ST)</i>
$1 \leq TU < 10$	III	<i>acute toxicity (AT)</i>
$10 \leq TU < 100$	IV	<i>high acute toxicity (HT)</i>
$TU \geq 100$	V	<i>very high acute toxicity (VT)</i>

Sumber: (Persoone *et al.*, 2003)

B. Toksisitas Kronis

Uji toksisitas kronis adalah uji toksisitas dalam jangka panjang, untuk menentukan apakah suatu effluent mengandung zat toksik pada konsentrasi yang menyebabkan toksisitas kronis. Metode toksisitas kronis seperti metode yang dikembangkan untuk organisme pesisir pantai dan laut (US EPA, 2002). Efek kronis dapat menyebabkan kerusakan organ dalam dan luar pada biota uji melalui paparan tunggal maupun paparan yang berulang atau dalam periode yang panjang (Noviana & Prinajati, 2021). Efek toksik kronis dapat timbul dari paparan tunggal terhadap zat yang memiliki efek berbahaya, tetapi lebih sering dari paparan berulang atau jangka panjang (Hermaniar, 2014). Efek toksik kronis meliputi efek *lethal* serta *sublethal* meliputi gangguan perkembangan, pertumbuhan, reproduksi, patologi, fisiologis, tingkah laku, reproduksi, serta biokimia (Rand *et al.*, 1984).

Faktor-faktor yang mempengaruhi toksisitas polutan terhadap biota adalah komposisi toksikan, jenis toksikan, konsentrasi toksikan, durasi paparan toksikan, frekuensi paparan toksikan, sifat lingkungan dan jenis biota (Masriyono, dkk., 2019).

2.8 Biota Uji

Berdasarkan (Simanjuntak, 2018), taksonomi ikan zebra yaitu sebagai berikut:

Kingdom : *Animalia*
Phyllum : *Chordata*
Sub-phyllum : *Vertebrata*
Superkelas : *Pisces*
Kelas : *Actinopterygii*
Ordo : *Cypriniformes*
Famili : *Cyprinidae*
Genus : *Danio*
Spesies : *Danio rerio*



Gambar 2. 1 Ikan Zebra
Sumber: (Suherman, 2022)

Kriteria biota uji harus memenuhi persyaratan menurut *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD) dan *US Environmental Protection Agency* (US-EPA). Berdasarkan (OECD, 2019) biota uji yang digunakan harus tersedia, mudah dirawat, mudah dibiakkan dan dibudidayakan dengan baik di laboratorium. Organisme yang akan digunakan sebagai biota uji harus dalam keadaan sehat, berperilaku normal, makan dengan normal, dan memiliki sensitifitas rendah (USEPA, 2002). Biota uji yang digunakan dapat mewakili kondisi dari suatu

perairan tersebut. Berdasarkan APHA (2005) dalam (Rohmani, 2014) ikan dan tumbuhan dapat digunakan untuk uji toksisitas suatu bahan pencemar. Biota uji yang digunakan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Organisme harus sensitif terhadap bahan beracun dan perubahan lingkungan.
- b. Tersedia sepanjang tahun dalam jumlah yang banyak dengan berbagai ukuran.
- c. Dapat dipelihara di laboratorium.
- d. Merupakan sumber daya yang memiliki nilai ekonomis.
- e. Sesuai untuk kepentingan uji hayati.

Penelitian ini menggunakan biota uji ikan zebra (*Danio rerio*). Ikan zebra (*Danio rerio*) ialah biota uji yang direkomendasikan oleh OECD tahun 2019. Ikan zebra termasuk dalam famili *Cyprinidae* yang mudah didapatkan, mudah berkembang biak, dan embrionya transparan. Ikan zebra telah digunakan dalam studi tentang toksikologi, farmakologi, ekspresi gen, kanker, ilmu saraf, neurologi, serta penyuntingan genom menjadikannya sebagai hewan studi yang serbaguna (Roxo-Rosa *et al.*, 2020). Sekitar 70% DNA ikan zebra sama dengan manusia, sehingga dapat menunjukkan efek paparan zat toksik pada manusia (Dewanti, dkk., 2015), tahapan perkembangan organ tidak membutuhkan waktu yang banyak dan struktur tubuhnya transparan sehingga mudah untuk diamati (Besu & Sachidanandan, 2013). Menurut (Martínez *et al.*, 2015) keuntungan menggunakan ikan zebra sebagai biota uji yaitu mudah diamati, mudah diperoleh, memiliki kesamaan DNA dan efek toksik yang serupa pada manusia serta sensitif terhadap polutan. Selain itu, juga mudah diaklimatisasi dalam laboratorium (Karimah, 2021).

Ikan zebra (*Danio rerio*) merupakan ikan tropis berukuran kecil yang dapat ditemukan di sungai-sungai. Ikan zebra memiliki kurang lebih 45 spesies di dunia. Garis-garis pada tubuh ikan ini terdiri dari berbagai jenis sel pigmen. Garis berwarna biru hitam terdapat dua sel pigmen yaitu iridiofor dan melanofor, sedangkan garis kuning perak terdapat sel pigmen

iridiofor dan xantofor. Garis tersebut berfungsi untuk penyesuaian diri terhadap lingkungan (Yuniarto *et al.*, 2017). Ikan zebra umumnya hidup di sungai yang aliran airnya lambat dan suka berada di dalam air dengan permukaan tanah tertutup pasir, lanau, atau kerikil. Percabangan antara sungai utama dan anak sungai merupakan habitat ikan ini. Selain itu, juga ditemukan di lahan basah serta sawah hijau. Di habitat alaminya, variasi suhu sangat beragam. Ikan zebra dapat hidup pada kisaran suhu 6°C hingga 38,6°C pada alam liar, sedangkan di laboratorium ikan zebra ditempatkan pada kisaran suhu 22°C hingga 31°C. Tingkat reproduksi dan kondisi tubuh ikan zebra dipengaruhi oleh habitat serta suhu yang mendekati batas minimum dan maksimum (Sfakianakis *et al.*, 2011). Ikan zebra ditemukan pada ketinggian 8 hingga 1.576 meter di atas permukaan laut. Pada habitat alaminya tingkat pH berkisar antara 5,9 hingga 9,8 serta tingkat salinitasnya antara 0,01 hingga 0,8 (Parichy, 2015).

2.9 Tahap Aklimatisasi

Aklimatisasi adalah proses organisme menyesuaikan diri dengan kondisi air lindi yang akan di lakukan pengolahan. Air pada tahap aklimatisasi dikondisikan untuk selalu memiliki suhu antara 24°C-30°C; pH 6–8,5; dan DO antara 5 hingga 6 mg/l (OECD, 1992). Tahap aklimatisasi bertujuan untuk biota uji menyesuaikan diri pada lingkungan baru. Perlakuan tahap ini selama 7 hari, setiap hari diberi makan serta diberi aerasi agar DO meningkat sehingga baik untuk kehidupan biota uji. Berdasarkan penelitian (Ali & J. A. R., 2018) aklimatisasi dilakukan selama 7 hari, dilakukan pengamatan serta pencatatan jumlah mortalitas ikan. Biota uji didiamkan selama 1 hari sebelum perlakuan, untuk menghindari stres pada biota uji (Rohmani, 2014).

2.10 Range Finding Test

Tahap *range finding test* merupakan tahap pertama dalam penelitian uji toksisitas. *Range finding test* adalah proses untuk menentukan konsentrasi terendah dari toksikan yang menyebabkan kematian 100% pada biota uji dalam waktu paparan selama 96 jam. Tahap ini adalah pencarian kisaran kasar, sehingga dimungkinkan untuk

memvariasikan konsentrasi toksikan dengan jarak interval yang cukup besar. Pada tahap ini dilakukan pengulangan sebanyak dua kali untuk setiap konsentrasinya (Wiyanti & J.A.R., 2018). Berdasarkan (OECD, 2019), kriteria konsentrasi batas bawah ditentukan berdasarkan konsentrasi maksimum yang menghasilkan mortalitas 0% pada tahap *range finding test*. Sedangkan kriteria ambang atas ditentukan berdasarkan konsentrasi minimum yang menghasilkan mortalitas 100% pada tahap *range finding test*.

2.11 Analisis Probit

Metode analisis probit digunakan untuk menghitung nilai LC₅₀ berdasarkan jumlah mortalitas biota uji pada masing-masing konsentrasi. Untuk menghitung nilai LC₅₀, data mortalitas biota uji dianalisa dengan program komputer (Faradisha, dkk., 2015). Untuk menentukan toksisitas relatif dari bahan kimia terhadap makhluk hidup, analisis probit umumnya digunakan dalam toksikologi. Hal ini dilakukan dengan menganalisis respon biota uji disetiap konsentrasi setiap toksikan, kemudian membandingkan konsentrasinya hingga didapatkan hasilnya (Tyas, dkk., 2016).

2.12 Integrasi Keislaman

Kerusakan alam di bumi ini tidak terlepas dari kegiatan yang dilakukan oleh manusia. Seperti bencana-bencana yang terjadi di bumi ini sebagian besar dikarenakan ulah dari manusia sendiri. Oleh karena itu, manusia perlu memahami tentang kerusakan lingkungan dan dampak yang ditimbulkan dari kecerobohan sifat manusia itu. Sehingga manusia juga perlu mengetahui pengkajian tentang ayat-ayat al-Qur'an. Berikut ayat-ayat Al-Qur'an mengenai alam dan kerusakan lingkungan.

Allah SWT telah berfirman pada QS. Ar-Rum ayat 41, sebagai berikut.

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ
الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: *“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).”*

Menurut Tafsir al-Muyassar, ayat ini menjelaskan bahwa telah terjadi kerusakan di darat serta di laut seperti kekeringan, minimnya hujan, banyaknya wabah penyakit, yang disebabkan dari kemaksiatan yang dilakukan oleh manusia. Agar mereka mendapatkan hukuman dari sebagian perbuatannya di dunia, supaya mereka bertaubat kepada Allah dan kembali kepada Allah dengan meninggalkan kemaksiatan tersebut, dan kemudian urusan mereka menjadi lurus serta keadaan mereka akan membaik.

Pada QS. Al-A'raf ayat 56, Allah SWT berfirman:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: *"Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diciptakan dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat kebaikan."*

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah SWT melarang melakukan hal-hal yang dapat menimbulkan kerusakan di muka bumi dan yang membahayakan kelestariannya setelah dilakukan perbaikan. Imam Ibnu Katsir menjelaskan bahwa perbuatan yang merusak bumi akan membahayakan seluruh hamba Allah SWT. Hal inilah yang membuat Allah SWT melarang perbuatan tersebut.

Allah SWT telah berfirman pada QS. Al-A'raf ayat 74, sebagai berikut:

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Kesimpulan
		Nila (<i>Oreo sp.</i>)	ppm. Nilai tersebut termasuk dalam kategori II dengan nilai $LC_{50} \leq 0,5$ mg/L.
3.	(Suherman, 2022)	Toksistas Akut Limbah Cair Kelapa Sawit pada Ikan Zebra (<i>Brachydanio rerio</i>)	Nilai LC_{50} limbah cair kelapa sawit terhadap ikan zebra yaitu sebesar 5.156 ml/L. Paparan akut limbah berpengaruh terhadap perubahan tingkah laku pada ikan serta signifikan terhadap pergerakan operculum ikan zebra ($P < 0.05$). Paparan akut limbah tersebut juga menyebabkan terjadi kerusakan jaringan pada insang berupa hiperplasia, hipertropi, hemoragi serta nekrosis.
4.	(Permana, dkk., 2022)	Mekanisme Toksistas Logam Kadmium Terhadap Fitoplankton: Review	Logam berat kadmium memiliki dampak yang bersifat lethal maupun sub-lethal terhadap metabolisme fitoplankton. Dampak fisiologis akibat paparan logam ini adalah gangguan fotosintesis, pertumbuhan sel, kerusakan klorofil, serta menyebabkan perubahan komposisi biokimia sel fitoplankton seperti penurunan kadar pigmen dan meningkatnya kadar proline dan MDA.
5.	(Pramadita, dkk., 2022)	Uji Toksistas Akut LC_{50} Limbah Cair Industri Karet PT. X terhadap <i>Daphnia Magna</i> dengan Metode Batch	Nilai LC_{50} - 24 jam limbah cair industri karet PT. X terhadap <i>Daphnia magna</i> dengan metode batch/statis didapatkan hasil probit sebesar 67,88% dengan TUa (<i>Toxicity Unit Area</i>) sebesar 1,47. Nilai tersebut berpengaruh besar terhadap lingkungan yang bersifat sangat toksik
6.	(Kartikasari, dkk., 2020)	Pengujian Toksistas Lindi Instalasi Pengolahan Lindi TPA Piyungan pada <i>Daphnia sp.</i> dengan <i>Whole Effluent Toxicity</i>	Pengujian toksistas lindi diperoleh nilai LC_{50} pada inlet sebesar 0,482% dengan <i>Toxic Unit acute</i> (TUa) sebesar 203,33 dapat dikategorikan <i>Very High Acute Toxicity</i> . Untuk outlet IPL diperoleh nilai sebesar 2,752% dengan <i>Toxic Unit acute</i> (TUa) sebesar 36,33 dan outlet dikategorikan <i>High Acute Toxicity</i> .
7.	(Rachmah, 2020)	Uji Toksistas Akut <i>Linier Alkylbenzene Sulfonate</i> (LAS) dan Timbal (Pb) Terhadap Ikan Mas (<i>Cyprinus carpio L.</i>)	Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai LC_{50} limbah artifisial LAS dan Pb terhadap ikan mas yaitu 0,313 mg/L. Nilai LC_{50} dari campuran LAS dan Pb masuk dalam kategori II yang termasuk kedalam tanda peringatan karena berbahaya apabila dihirup.

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Kesimpulan
8.	(Ali & Ratni, 2018)	Ikan Patin (<i>Pengasius sp</i>) Untuk Uji Toksisitas Akut Air Lindi	Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan nilai LC ₅₀ pada ikan patin yaitu sebesar 0,86%. Nilai timbal (pb) terhadap ikan patin dengan kadar terkecil pada kadar 0,4% yaitu 0,003 mg/l, sedangkan nilai timbal tertinggi pada kadar 2% yaitu 0,026 mg/l. Nilai BCF pada kadar 0,4% adalah 0,031 mg/l dan pada kadar 2% adalah 0,057.
9.	(Haz, 2018)	Studi Toksisitas Air Sampah (Lindi) di IPL TPST Piyungan Menggunakan Metode <i>Whole Effluent Toxicity</i> (WET) Dengan Ikan Nila (<i>Oreochromis niloticus</i>)	Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan nilai LC ₅₀ untuk influen IPL sebesar 0,5492% dengan <i>Toxic Unit acute</i> (TUa) sebesar 182,086. Pada effluen IPL sebesar 0,365% dengan <i>Toxic Unit acute</i> (TUa) sebesar 273,98. Lindi pada influen dan effluent IPL TPA dikategorikan <i>Very High Acute Toxicity</i> .
10.	(Dewi, dkk., 2018)	Toksisitas Lindi Dengan Perlakuan Biosorben Nanopartikel Kulit Pisang Kepok Terhadap Mortalitas Dan Struktur Hepar Ikan Tawes	Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan pada skala Loomis uji toksisitas lindi TPA Piyungan berada dalam tingkat luar biasa toksik dengan LC ₅₀ - 48 jam = 0,0268 ml dan LC ₅₀ - 96 jam = 0,0029 ml. Kerusakan ringan terjadi pada hepar ikan tawes pada lindi yang diperlakukan dengan nanopartikel kulit pisang kepok.
11.	(Wiyanti & J.A.R, 2018)	Uji Toksisitas Lindi TPA Benowo Menggunakan Ikan Tawes (<i>Barbonymus Gonionotus</i>) Sebagai Biota Uji	Pada penelitian ini menggunakan persentase konsentrasi yang kecil pada saat tahap <i>range finding test</i> karena kandungan toksikan dalam limbah lindi cukup besar. Ikan tawes yang sudah mati, warnanya menjadi lebih pucat, tubuhnya berlendir, mata berubah menjadi putih serta warna kulit bagian perut berubah menjadi kecoklatan. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan didapatkan nilai LC ₅₀ untuk ikan tawes adalah ±0,385%.
12.	(Wdowczyk & Pulikowska,	<i>Analysis Of The Possibility of Conducting a</i>	Polutan dalam lindi dari TPA yang dianalisis berada pada tingkat yang tidak memungkinkan untuk dibuang ke air

No.	Peneliti	Judul Penelitian	Kesimpulan
	2021)	<i>Comprehensive Assessment of Landfill Leachate Contamination Using Physicochemical Indicators and Toxicity Test</i>	<p>atau tanah. Kehadiran zat yang sangat berbahaya bagi lingkungan perairan (misalnya AN, kromium, tembaga) dapat menghambat pengolahannya bersama dengan limbah rumah tangga. Sifat racun lindi mungkin disebabkan oleh adanya konsentrasi tinggi tembaga, dan kromium, yang diamati pada sebagian besar sampel yang dianalisis.</p> <p>PCA menunjukkan korelasi terkuat antara ikatan lindi dari semua TPA yang dianalisis dengan nilai pH, EC dan konsentrasi ON, TDS, TSS, klorida, besi, mangan, serta konsentrasi kalsium, sedangkan sifat lindi TPA non operasional sangat dipengaruhi oleh COD, TU dan konsentrasi TKN, AN, TS, sodium, kalium dan magnesium. Parameter tersebut juga menunjukkan korelasi yang kuat dengan sifat fisikokimia lindi lainnya.</p>
13.	(Baderna <i>et al.</i> , 2019)	<i>Investigating Landfill Leachate Toxicity In Vitro: A Review of Cell Models and Endpoints</i>	<p>Studi yang dipublikasikan menunjukkan bahwa bioassay berbasis sel efisien untuk mengevaluasi kinerja perawatan detoksifikasi dan pemurnian yang canggih. Studi-studi ini, pada kenyataannya, menunjukkan bagaimana proses seringkali dapat mengurangi tidak hanya muatan kimia polutan tetapi juga toksisitas lindi dengan menghilangkan senyawa yang paling berbahaya atau mengarah pada pembentukan residu proses yang kurang beracun. Sedangkan untuk bioassay tradisional dengan organisme, penyelidikan lengkap aktivitas biologis lindi memerlukan rangkaian uji sel untuk mempertimbangkan toksisitas terkait organ karena aktivitas metabolisme yang berbeda dari setiap sel atau adanya jalur molekuler spesifik. Penggunaan model selular yang berbeda, melalui pendekatan terpadu dengan model yang berbeda dan titik akhir yang saling berhubungan untuk membuat sistem yang lebih kompleks dapat berfungsi sebagai strategi inovatif untuk studi</p>

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian dalam penelitian uji toksisitas ini adalah penelitian kuantitatif eksperimental. Pada penelitian ini menggunakan biota uji ikan zebra (*Danio rerio*). Terdapat beberapa perlakuan pada biota uji yakni tahap aklimatisasi selama 7 hari, kemudian tahap *Range Finding Test* selama 96 jam dengan paparan konsentrasi 0%; 6%; 12%; 24%; 48%; dan 96% dan tahap uji toksisitas akut. Perlakuan ikan pada tahap uji toksisitas akut sama dengan pada tahap *Range Finding Test* namun konsentrasinya berbeda. Konsentrasi pada tahap uji toksisitas akut didapatkan dari tahap *range finding test* yang menunjukkan ambang bawah dan ambang atas. Ambang bawah adalah konsentrasi maksimal yang menghasilkan 0% mortalitas sedangkan ambang atas adalah konsentrasi minimal yang menghasilkan 100% mortalitas. Pada penelitian ini dilakukan pengecekan suhu, pH, DO, dan mortalitas ikan setiap harinya. Perhitungan nilai LC_{50} dilakukan dengan menggunakan metode analisa probit dengan software IBM SPSS.

3.2 Variabel Penelitian

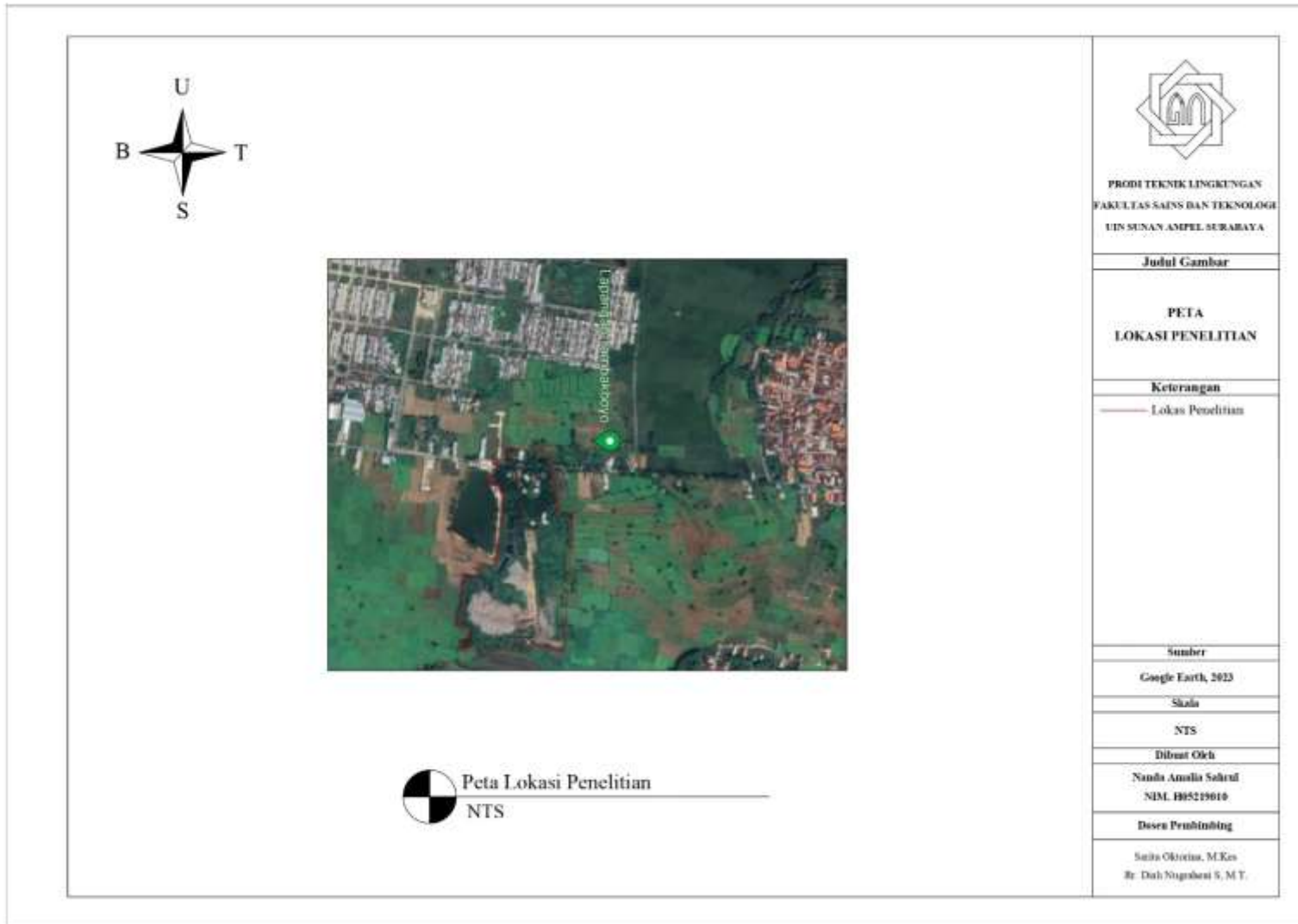
Pada penelitian Uji Toksisitas Akut (LC_{50} -96 Jam) Lindi TPA Tambakrigadung Lamongan Terhadap Ikan Zebra (*Danio rerio*) terdapat dua variabel yaitu variabel bebas dan terikat.

a. Variabel bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang memberikan pengaruh pada variabel lain. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu konsentrasi air lindi.

b. Variabel terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang mendapatkan pengaruh dari variabel lain. Pada penelitian ini variabel terikatnya yaitu ikan zebra (*Danio rerio*).










Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian
 Sumber: (Google Earth, 2023)

3.5 Alat dan Bahan

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

Tabel 3. 2 Alat Penelitian

No.	Nama Alat	Peruntukan	Gambar
1	Aquarium dengan ukuran 25 cm x 25 cm x 20 cm	Sebagai reaktor uji penelitian	
2	Aerator	Untuk aerasi pada saat penelitian	
3	Kolam aklimatisasi	Sebagai media untuk aklimatisasi ikan	
4	Saringan ikan	Untuk memindahkan ikan dari kolam ke aquarium	
5	Gelas beaker	Untuk mengukur dan menampung sampel lindi yang dibutuhkan	
6	Termometer	Untuk mengukur suhu sampel air lindi	
7	pH meter	Untuk mengukur pH sampel air lindi	

Tabel 3. 3 Bahan Penelitian

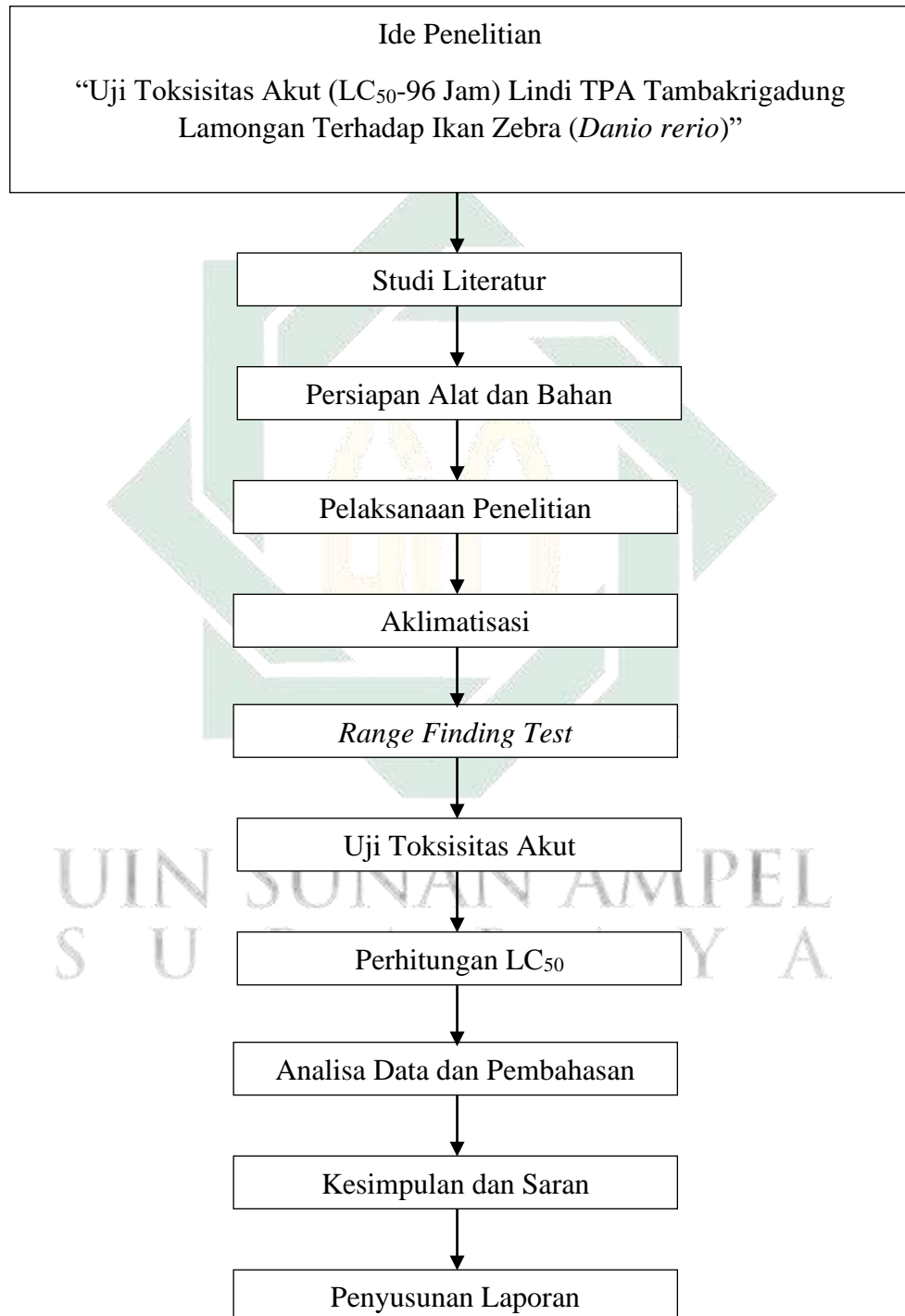
No	Nama Bahan	Peruntukan	Gambar
1	Sampel air lindi	Sebagai bahan uji penelitian	
2	Ikan zebra (<i>Danio rerio</i>) (panjang ikan 1 - 2 cm, setiap reaktor berisi 10 ekor ikan)	Sebagai biota uji penelitian	
3	Pelet ikan	Untuk pakan ikan	
4	Air PDAM	Sebagai bahan untuk mengencerkan air lindi	

Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

3.6 Tahapan Penelitian

Berikut merupakan tahapan penelitian dijelaskan pada gambar 3.2 berikut ini:

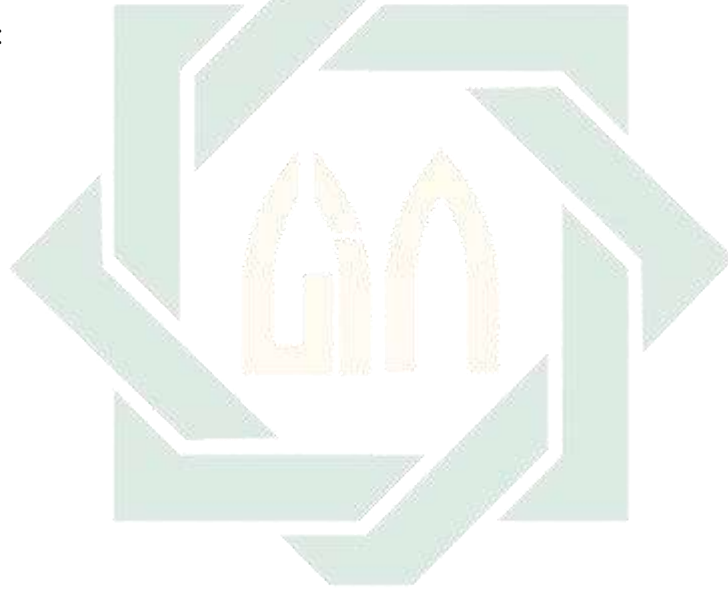


Gambar 3. 2 Tahapan penelitian

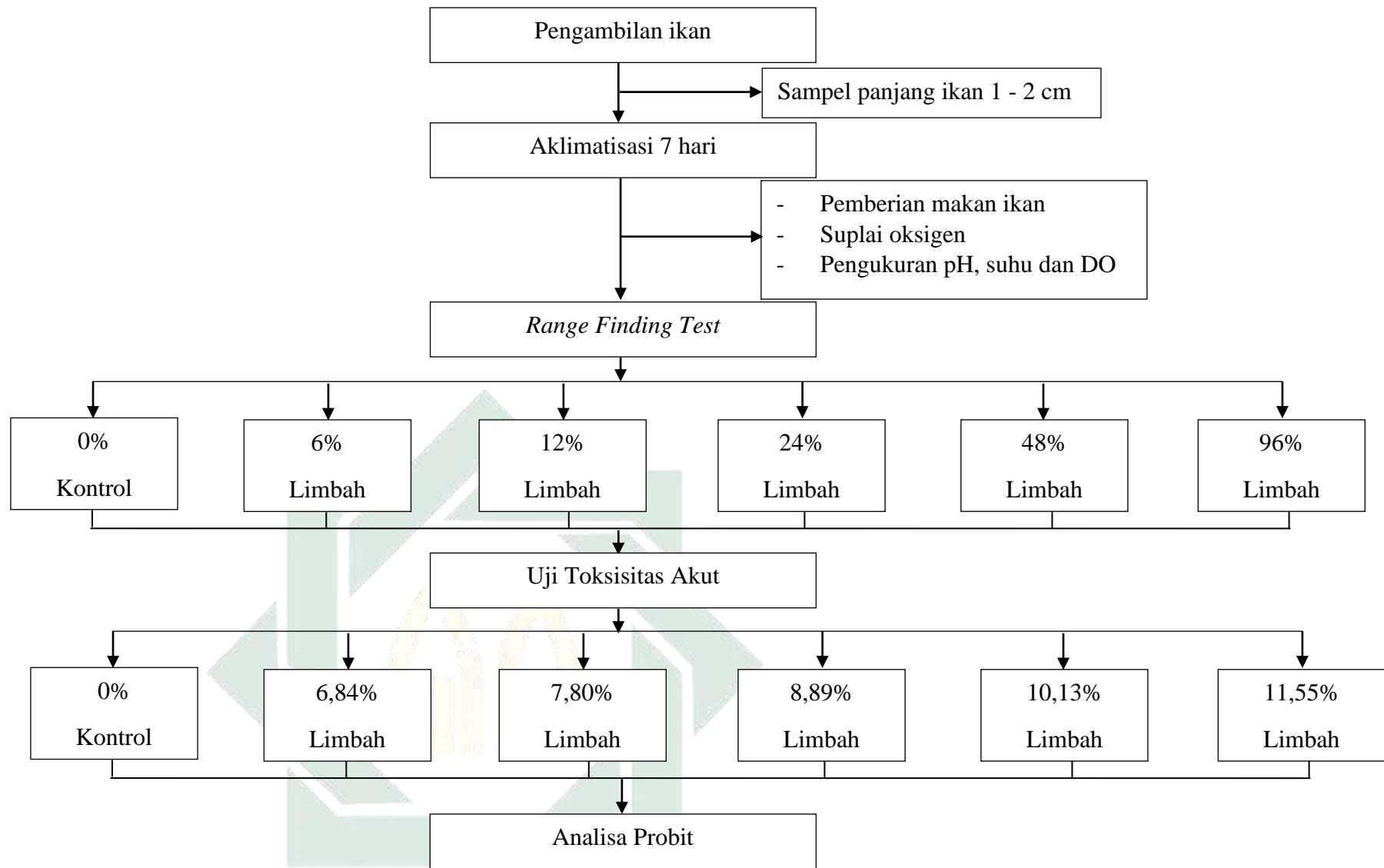
Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

3.7 Kerangka Pikir

Kerangka pikir merupakan sebuah proses yang sistematis untuk menggambarkan pelaksanaan penelitian. Penelitian ini membahas mengenai tingkat bahaya lindi di TPA Tambakrigadung yang berpotensi mencemari lingkungan apabila pengolahannya kurang baik. Kemudian didapatkan judul “Uji Toksisitas Akut (LC₅₀-96 Jam) Lindi TPA Tambakrigadung Lamongan Terhadap Ikan Zebra (*Danio rerio*)”. Kerangka penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut:



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A



Gambar 3. 3 Kerangka pikir penelitian

Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

3.8 Langkah Kerja Penelitian

1. Penentuan Lokasi dan Pengambilan Sampel

Lokasi pengambilan sampel lindi berada di TPA Tambakrigadung Lamongan. Pengambilan sampel lindi dilakukan dengan menggunakan metode yang mengacu pada SNI 6989.59:2008 tentang Air dan Air Limbah, Bagian 59: Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah. Pengambilan sampel lindi TPA menggunakan metode *grab sampling* yaitu sampel yang diambil pada waktu tertentu dan sampel tersebut sudah mampu mewakili badan air. Lokasi pengambilan biota uji ikan zebra (*Danio rerio*) yaitu berada di pasar ikan Mastrip Surabaya. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *purposive sampling* yang berarti proses pengambilan sampel dengan kriteria tertentu. Kriteria sampel ikan zebra dengan panjang 1-2 cm.

2. Tahap Aklimatisasi

Pada tahap ini bertujuan untuk adaptasi biota uji yang akan digunakan dengan air pengencer. Tahap aklimatisasi ini dilakukan setidaknya selama 7 hari (Wiyanti & JAR, 2018). Sebelum dilakukan aklimatisasi, biota uji harus didiamkan terlebih dahulu selama 24 jam untuk menghindari stres pada biota uji (Rohmani, 2014). Kemudian ikan diaklimatisasi selama 7 hari dan diberi aerasi agar oksigen terlarut meningkat sehingga cukup untuk keberlangsungan hidup biota uji. Pada tahap aklimatisasi kondisi air harus sesuai dengan biota uji yang digunakan. Pada tahap aklimatisasi pemberian makan dilakukan sebanyak tiga kali dalam seminggu atau setiap hari sampai 24-28 jam sebelum paparan dimulai (OECD, 2019). Menurut (OECD, 2019) pengamatan kelayakan ikan pada tahap aklimatisasi sebagai berikut:

Tabel 3. 4 Kelayakan Ikan Pada Tahap Aklimatisasi

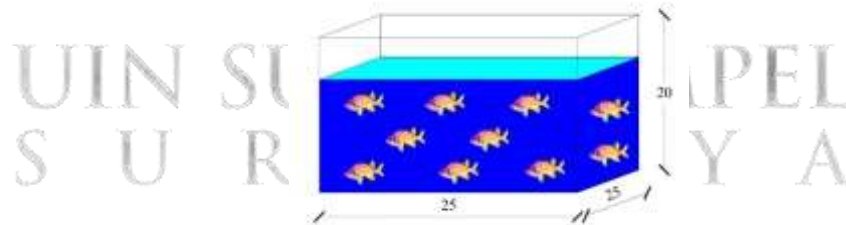
Jumlah Mati (%)	Keterangan
<5%	Layak
5-10%	Dilanjutkan selama 14 hari
>10%	Tidak layak

Sumber: (OECD, 2019)

3. *Range Finding Test*

Pada tahap ini merupakan tahap pendahuluan dalam memulai penelitian. *Range Finding Test* merupakan tahapan untuk menentukan konsentrasi terkecil dari toksikan yang menyebabkan 100% biota uji mati dalam paparan 96 jam. Dalam tahapan ini merupakan pencarian kisaran secara kasar, maka menggunakan variasi konsentrasi toksikan dengan jarak interval yang cukup besar. Pada tahapan ini untuk masing-masing kadarnya dilakukan pengulangan dua kali (Wiyanti dan JAR, 2018). *Range finding test* bertujuan untuk menentukan batas bawah dan batas atas dari konsentrasi yang akan digunakan untuk uji toksisitas akut. Jumlah konsentrasi yang digunakan minimal harus berjumlah 5 konsentrasi dengan rentang variasi mengikuti deret geometri (USEPA, 2012). Tahapan *range finding test* adalah sebagai berikut:

- a. Tahap ini memerlukan waktu 96 jam (OECD, 2019)
- b. Reaktor yang digunakan berbahan dasar kaca dengan volume 12 L yang berukuran 25 cm x 25 cm x 20 cm dengan tebal kaca 5 mm dan dilengkapi dengan aerator.



Gambar 3. 4 Reaktor

Sumber: (Dokumentasi pribadi, 2023)

- c. Berdasarkan (OECD, 2019) perbandingan berat ikan 0,8 gram ikan/1 liter air (OECD, 2019), maka volume total air setiap reaktor sebanyak 3.500 ml. Berikut perhitungan kebutuhan air untuk setiap reaktor:

Berat sampel ikan: 0,28 gram

$$\text{Kebutuhan air per ekor ikan} = \frac{0,8 \text{ gram}}{1 \text{ liter}} = \frac{0,28 \text{ gram}}{x}$$

$$x = \frac{0,28 \text{ gram}}{0,8 \text{ gram}}$$

$$x = 0,35 \text{ liter}$$

Volume total air tiap reactor = 0,35 liter x 10 ekor

$$= 3,5 \text{ liter}$$

$$= 3.500 \text{ ml}$$

- d. Setiap reaktor diisi dengan biota uji sebanyak 10 ekor.
- e. Ketika *range finding test* ikan tidak diberi makan agar ikan tidak membuang kotorannya sehingga tidak menimbulkan adanya parasit.
- f. Pemaparan dengan variasi konsentrasi yang ditentukan, yaitu 0%; 6%; 12%; 24%; 48%; dan 96% toksikan terhadap volume total.
- g. Dilakukan pengamatan awal parameter lindi (pH, BOD, COD, TSS, dan N-Total).
- h. Dilakukan pengamatan ikan, pH, suhu, dan DO setiap hari.
- i. Dilakukan perlakuan (*duplo*) agar terdapat cadangan reaktor apabila terjadi kebocoran atau kerusakan.

4. Uji Toksisitas Akut

Uji toksisitas akut menggunakan biota uji adalah suatu bentuk penelitian toksikologi perairan yang bertujuan untuk menganalisis apakah effluent atau badan air penerima mengandung zat beracun pada kadar yang menyebabkan toksisitas akut (Rohmani, 2014). Pada tahap ini dilakukan selama 96 jam dengan mortalitas biota uji sebanyak 50%, melakukan pengukuran pH, suhu dan DO pada tiap reaktor setiap hari. Perlakuan pada tahap ini hampir sama dengan tahap *Range Finding Test*, perbedaannya terdapat pada konsentrasinya saja. Konsentrasi yang digunakan pada tahap ini didapatkan dari kisaran tahap *Range Finding Test*. Berikut rumus penentuan persentase kematian biota uji (Rachmah, 2020).

$$\% \text{ kematian biota} = \frac{(\sum \text{biota uji yang mati} - \sum \text{biota kontrol yang mati})}{\sum \text{biota uji}} \times 100\%$$

5. Analisis Probit

Penentuan nilai LC_{50-96} jam dilakukan dengan analisis probit. Metode analisis probit digunakan untuk menghitung nilai LC_{50} berdasarkan jumlah mortalitas biota uji pada masing-masing konsentrasi. Untuk menghitung nilai LC_{50} , data mortalitas biota uji dianalisa dengan program komputer (Faradisha, dkk., 2015). Hal ini dilakukan dengan menguji respon suatu organisme terhadap beberapa konsentrasi masing-masing dan kemudian membandingkan konsentrasi sehingga diperoleh hasilnya (Leuwol *et al.*, 2019). Analisis data dihitung dengan menggunakan metode regresi probit. Data yang dibutuhkan untuk analisis probit yaitu sebagai berikut:

- a. Konsentrasi zat tiap reaktor
- b. Kematian pada tiap reaktor
- c. Total biota uji pada tiap reaktor

Analisis data tersebut menggunakan software SPSS, dengan langkah-langkah di bawah ini:

- a. Klik “*Analyze*”
- b. Klik “*Regression*”
- c. Klik “*Probit*”
- d. Klik *Option* → sig 0,5 → *calculate from data*
- e. Klik “mati” lalu masukkan ke kolom *response frequency*
- f. Klik “total” lalu masukkan ke kolom *total observed*
- g. Klik “konsentrasi” lalu masukkan ke kolom *Covariable*
- h. Klik *Transfrom* → log base 10
- i. Klik Ok

Setelah diperoleh hasil nilai LC_{50} , maka dapat diklasifikasikan tingkat toksisitasnya berdasarkan dengan Tabel 2.3 klasifikasi tingkat toksisitas akut.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Aklimatisasi

Tahap aklimatisasi bertujuan untuk mengetahui apakah biota uji yang akan digunakan dapat bertahan hidup dengan lingkungan air yang berbeda dari sebelumnya. Aklimatisasi juga dapat mengetahui apakah biota uji dapat hidup di lingkungan air pengencer yang akan digunakan pada uji selanjutnya. Pada penelitian ini, air pengencer yang digunakan berasal dari air PDAM yang diambil di laboratorium UIN Sunan Ampel Surabaya. Biota uji yang digunakan pada penelitian ini adalah ikan zebra (*Danio rerio*) dengan ukuran panjang 1-2 cm. Pemilihan ukuran biota uji berdasarkan kriteria yang disarankan oleh (OECD, 2019). Penentuan kriteria biota uji untuk mengasumsikan bahwa biota uji mempunyai umur yang sama (Rohmani, 2014). Total ikan zebra yang digunakan sebanyak 250 ikan. Aklimatisasi dilakukan selama 7 hari mulai dari tanggal 1 April 2023 hingga 7 April 2023. Aklimatisasi dilakukan dalam kolam berukuran 100 cm x 100 cm x 50 cm yang dilengkapi dengan aerasi. Ikan diberi makan setiap hari dan selama 3 hari sekali dilakukan pengurasan kolam agar kotoran ikan tidak menyebabkan penyakit pada ikan. Selama proses aklimatisasi beberapa parameter kualitas air yang perlu diperhatikan diantaranya derajat keasaman (pH), oksigen terlarut (DO), dan suhu air. Selain ketiga parameter tersebut, mortalitas dari biota uji juga diperhatikan pada tahap aklimatisasi ini. Berikut Grafik nilai parameter pH air pada tahap aklimatisasi dapat dilihat pada gambar 4.1 di bawah ini:

Berdasarkan grafik di atas, mortalitas biota uji hanya terjadi dihari ke empat dan ke tujuh. Pada hari ke empat mortalitas ikan sebanyak 1 ikan, hal tersebut dikarenakan pada hari ke empat ikan mengalami stres karena proses pengurasan dan rendahnya suhu pada hari tersebut. Dan pada hari ke tujuh mortalitas ikan sebanyak 1 ikan, hal ini disebabkan ikan mengalami stres ketika pengurasan, peneliti menuang ikan ke air yang baru diganti secara kasar. Stres menyebabkan ikan memiliki tubuh yang lemah dan perubahan tingkah laku yang abnormal (tidak ada pergerakan, lebih banyak menghabiskan waktu pada area bawah, dan nafsu makan ikan berkurang) (Darniwa, dkk., 2020). Namun kematian yang terjadi bernilai $\leq 5\%$ dari total keseluruhan biota uji yang digunakan. Dimana jumlah awal ikan pada tahap aklimatisasi sebanyak 250 ikan, dan total mortalitas ikan adalah 2 ekor. Berdasarkan hasil tersebut maka air pengencer yang akan digunakan pada tahap aklimatisasi dapat pula digunakan pada tahap selanjutnya yaitu *range finding test* dan uji toksisitas akut karena mortalitas ikan tidak lebih dari 5%.

4.2 Range Finding Test

4.2.1 Karakteristik Lindi (*Range Finding Test*)

Range finding test atau uji pendahuluan bertujuan untuk menentukan batas kisaran kritis untuk menjadi dasar dalam menentukan konsentrasi ambang batas atas dan ambang batas bawah yang selanjutnya akan digunakan dalam uji toksisitas sesungguhnya (Kinasih *et al.*, 2013). Uji pendahuluan dalam penelitian ini menggunakan 10 ikan zebra berukuran 1-2 cm dengan 2 perlakuan (duplo) serta mengamati kematian biota uji selama 96 jam. Pada tahap *range finding test* dilakukan analisis pada limbah lindi dengan parameter yang diuji adalah pH, suhu, *Dissolved Oxygen* (DO), *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), dan Nitrogen Total (N-Total). Sampel lindi yang digunakan berasal dari TPA Tambakrigadung Lamongan. Berikut hasil analisis limbah lindi untuk tahap *range finding test*.

Tabel 4. 1 Hasil Analisis Kandungan Lindi pada Tahap *Range Finding Test*

No	Parameter	Satuan	Standart Maksimal	Hasil
1	BOD	mg/L	150	1.565
2	COD	mg/L	300	3.901
3	TSS	mg/L	100	141,5
4	N-Total	mg/L	60	1.010

Sumber: (Hasil Analisis Laboratorium, 2023)

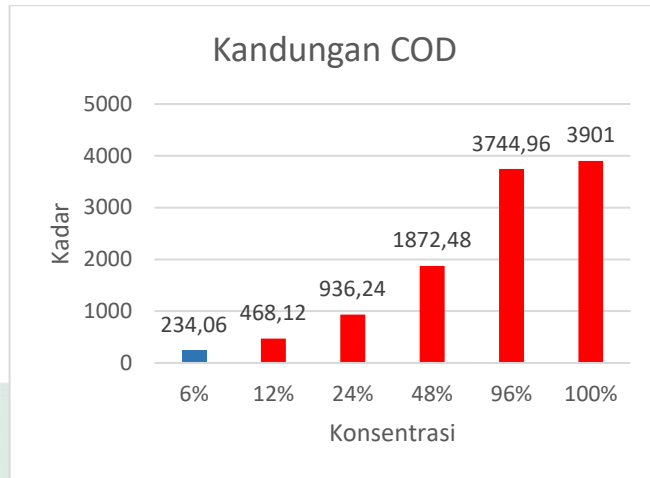
Berdasarkan Tabel 4.1 di atas terlihat bahwa seluruh parameter air limbah lindi untuk tahap *range finding test* melebihi baku mutu lindi yang ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 59 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Lindi bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah. Kandungan parameter BOD sebesar 1.565 mg/L, dimana hasil tersebut melebihi baku mutu yakni 150 mg/L. Parameter COD sebesar 3.901 mg/L, yang mana sangat melebihi baku mutu yakni 300 mg/L. Parameter TSS sebesar 141,5 mg/L, hal tersebut melebihi baku mutu yakni 100 mg/L. Dan pada parameter Nitrogen Total didapatkan hasil 1.010 mg/L, yang mana hasil tersebut sangat melebihi standart baku mutu yang hanya sebesar 60 mg/L. Nilai parameter yang melebihi baku mutu tersebut apabila dibuang ke lingkungan perairan akan memberikan dampak negative terhadap organisme air. Menurut (Nugroho dkk., 2013) Hasil analisis yang melebihi baku mutu tersebut mampu mengakibatkan pencemaran air sungai, kematian pada biota air, serta mengurangi kemampuan air sungai untuk menjaga ekosistem perairan.

Kandungan bahan organik yang tinggi dalam air akan bersifat toksik bagi organisme dalam perairan. Sampel limbah berasal dari effluent IPL TPA. Tahap *range finding test* menggunakan beberapa variasi konsentrasi yakni 0% (kontrol), 6%, 12%, 24%, 48%, dan 96%. Konsentrasi 0% (kontrol) artinya hanya menggunakan air pengencer saja dan tidak ada campuran limbah.

Berdasarkan Gambar 4.6 di atas, hasil analisis menunjukkan bahwa nilai BOD pada air lindi TPA pada tahap *range finding test* sebesar 1.565 mg/L. Nilai tersebut melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 59 tahun 2016, yang mana batas maksimal BOD untuk lindi sebesar 150 mg/L. Pada tahap *range finding test* dilakukan pengenceran dengan air PDAM. Sehingga nilai BOD pada konsentrasi 6% sebesar 93,9 mg/L, konsentrasi 12% sebesar 187,8 mg/L, konsentrasi 24% sebesar 375,6 mg/L, konsentrasi 48% sebesar 751,2 mg/L, dan konsentrasi 96% sebesar 1502,4 mg/L. Nilai BOD setelah pengenceran masih diatas baku mutu kecuali pada konsentrasi 6% sebesar 93,9 mg/L. Sehingga, kematian biota uji pada konsentrasi 12%, 24%, 48%, dan 96% dapat disebabkan oleh tingginya kadar BOD.

Jika kadar BOD melebihi 150 mg/L, maka konsentrasi BOD ini menggambarkan kandungan material organik pula. Adanya konsentrasi yang tinggi akan membutuhkan banyak oksigen untuk melakukan proses dekomposisi secara biologis (*biodegradable*) oleh mikroorganisme aerob (Angrianto dkk., 2021). Penguraian zat organik adalah peristiwa alamiah, jika suatu badan air tercemar oleh zat organik maka bakteri akan dapat menghabiskan oksigen terlarut. dalam air, sehingga dapat mengakibatkan kematian pada biota air dan timbulnya bau busuk pada badan air (Erni, 2013).

5. Parameter COD

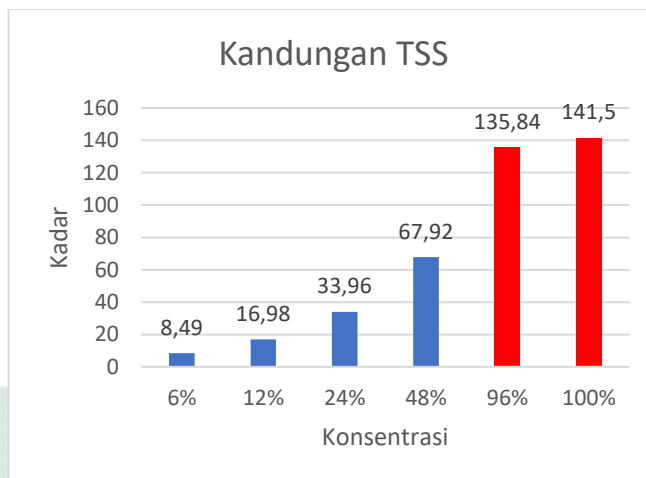


Gambar 4. 7 Kandungan COD Pada Tahap *Range Finding Test*

Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan Gambar 4.7 di atas hasil analisis menunjukkan bahwa nilai COD pada air lindi TPA pada tahap *range finding test* sebesar 3.901 mg/L. Nilai tersebut melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 59 tahun 2016, yang mana batas maksimal COD untuk lindi sebesar 300 mg/L. Kadar COD pada konsentrasi 6% sebesar 234,06 mg/L, konsentrasi 12% sebesar 468,12 mg/L, konsentrasi 24% sebesar 936,24 mg/L, konsentrasi 48% sebesar 1872,48 mg/L, dan konsentrasi 96% sebesar 3744,96 mg/L. Kadar COD pada tiap konsentrasi masih melebihi baku mutu kecuali pada konsentrasi 6% yaitu sebesar 234,06 mg/L. Sehingga, kematian biota uji pada konsentrasi 12%, 24%, 48%, dan 96% dapat disebabkan oleh tingginya kadar COD. Jika kadar COD melebihi 300 mg/L, maka konsumsi oksigen tinggi ditunjukkan dengan semakin kecilnya sisa oksigen terlarut. Dengan demikian tingginya COD merupakan indikator adanya pencemaran yang paling penting untuk menentukan daya cemar air limbah (Erni, 2013).

6. Parameter TSS

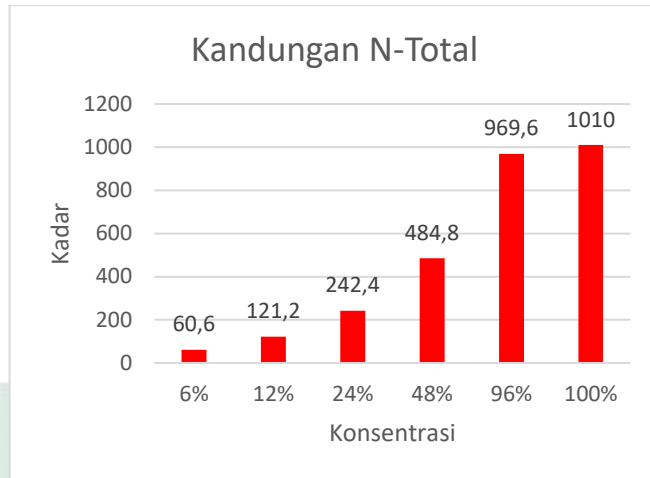


Gambar 4. 8 Kandungan TSS Pada Tahap *Range Finding Test*

Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan Gambar 4.8 di atas hasil analisis menunjukkan bahwa nilai TSS pada air lindi TPA pada tahap *range finding test* sebesar 141,5 mg/L. Nilai tersebut melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 59 tahun 2016, yang mana batas maksimal TSS untuk lindi sebesar 100 mg/L. Kadar TSS pada konsentrasi 6% sebesar 8,49 mg/L, konsentrasi 12% sebesar 16,98 mg/L, konsentrasi 24% sebesar 33,96 mg/L, konsentrasi 48% sebesar 67,92 mg/L, dan konsentrasi 96% sebesar 135,84 mg/L. Kadar TSS pada konsentrasi 96% melebihi baku mutu. Sehingga, kematian biota uji pada konsentrasi 96% dapat disebabkan oleh tingginya kadar TSS. Secara fisik keberadaan TSS umumnya dapat dikatakan sebagai penyebab kekeruhan pada air. Limbah yang mengandung zat tersuspensi tinggi dapat menyebabkan pendangkalan (Erni, 2013).

7. Parameter N-Total



Gambar 4. 9 Kandungan N-Total Pada Tahap *Range Finding Test*

Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan Gambar di atas hasil analisis menunjukkan bahwa nilai N-Total pada air lindi TPA pada tahap *range finding test* sebesar 1.010 mg/L. Nilai tersebut melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 59 tahun 2016, yang mana batas maksimal N-Total untuk lindi sebesar 60 mg/L. Kadar N-Total pada konsentrasi 6% sebesar 60,6 mg/L, konsentrasi 12% sebesar 121,2 mg/L, konsnetrasi 24% sebesar 242,4 mg/L, konsentrasi 48% sebesar 484,8 mg/L, dan konsentrasi 96% sebesar 969,6 mg/L. Kadar N-Total pada semua konsentrasi diatas baku mutu. Sehingga, kematian biota uji pada konsentrasi 6% hingga 96% dapat disebabkan oleh tingginya kadar N-Total. Nitrogen dapat memberikan efek berupa penurunan kadar oksigen terlarut dalam air. Nitrogen di perairan merupakan polutan yang berpotensi menyebabkan sistem perairan terganggu. Terganggunya keseimbangan sistem perairan dapat menyebabkan komponen biologis di dalamnya mengalami perubahan dan mengancam fungsi ekologi (Lestari, 2013).

4.3 Uji Toksisitas Akut

Tahap uji toksisitas akut dilakukan dengan pemaparan limbah terhadap biota uji selama 96 jam serta dilakukan pengamatan terhadap kualitas air dengan parameter suhu, pH, dan oksigen terlarut (DO) selama penelitian berlangsung. Pengamatan mortalitas biota uji juga dilakukan setiap hari selama 96 jam. Pada tahap uji toksisitas akut tidak dilakukan pemberian makanan pada ikan. Hal tersebut agar tidak ada sisa makanan dan kotoran ikan yang dapat menjadi sumber penyakit bagi ikan. Pada tahap uji toksisitas menggunakan air pengencer PDAM yang berasal dari laboratorium.

Konsentrasi pada tahap uji toksisitas akut diambil berdasarkan persempitan konsentrasi pada tahap *range finding test* yang menghasilkan konsentrasi ambang bawah dan konsentrasi ambang atas. Konsentrasi ambang bawah adalah konsentrasi tertinggi yang menghasilkan mortalitas 0%, pada tahap *range finding test* konsentrasi ambang bawah adalah 6%. Sedangkan konsentrasi ambang atas adalah konsentrasi terendah yang menghasilkan mortalitas 100% yaitu 12%. Sehingga penentuan variasi untuk uji toksisitas akut adalah variasi konsentrasi antara 6% hingga 12%, yaitu konsentrasi 0% (kontrol); 6,84%; 7,80%; 8,89%; 10,13%; dan 11,55%. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan (Mustapa, dkk., 2018), takaran dosis yang dianjurkan paling tidak empat peringkat dosis, berkisar dari dosis terendah yang belum memberikan efek kematian seluruh hewan uji sampai dosis tertinggi yang dapat mematikan seluruh atau hampir seluruh hewan uji. Berikut hasil analisis lindi pada tahap uji toksisitas akut.

Tabel 4. 7 Hasil Analisis Kandungan Lindi pada Tahap Uji Toksisitas Akut

No	Parameter	Satuan	Standart Maksimal	Hasil
1	BOD	mg/L	150	1.688
2	COD	mg/L	300	3.984
3	TSS	mg/L	100	96,4
4	N-Total	mg/L	60	882,4

Sumber: (Hasil Analisis Laboratorium, 2023)

4.3.1 Karakteristik Lindi (Uji Toksisitas Akut)

Pada tahap ini sama dengan tahap *range finding test*, tahap uji toksisitas akut juga dilakukan pengujian pada lindi yang akan digunakan. Tujuan dari pengujian karakteristik adalah untuk mengetahui nilai dari parameter uji seperti BOD, COD, TSS, dan N-Total. Berikut contoh perhitungan konsentrasi limbah pada tiap reaktor.

- a) Volume air tiap reaktor = 3.500 ml
- b) Konsentrasi limbah 6,84% = konsentrasi × total air tiap reaktor
= 6,84% × 3.500 ml
= 239,4 ml
- c) Air pengencer PDAM = 3.500 ml – 239,4 ml
= 3.260,6 ml

Berikut variasi konsentrasi limbah pada tahap uji toksisitas akut pada Tabel di bawah ini.

Tabel 4. 8 Variasi Konsentrasi Limbah pada Tahap *Range Finding Test*

No.	Konsentrasi limbah (%)	Air limbah yang digunakan (ml)	Air pengencer PDAM (ml)	Total air (ml)
1	0 (kontrol)	0	3500	3500
2	6,84%	239,4	3260,6	3500
3	7,80%	273	3227	3500
4	8,89%	311,15	3188,85	3500
5	10,13%	354,55	3.145,45	3500
6	11,55%	404,25	3.095,75	3500

Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

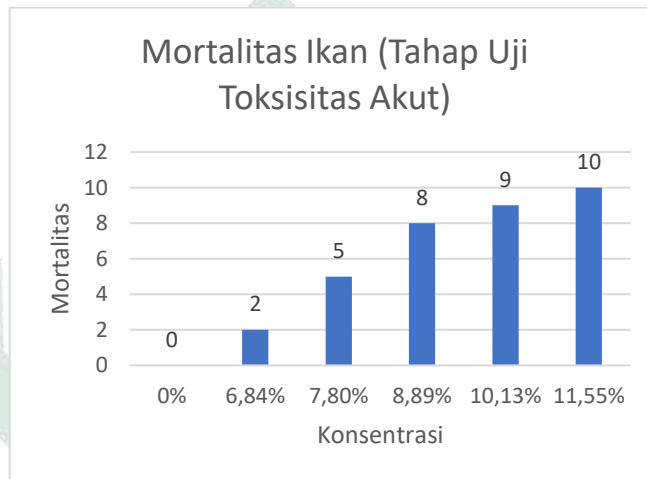
Seperti tahap *range finding test*, ketika uji toksisitas akut kandungan toksikan pada lindi dihitung berdasarkan konsentrasi yang digunakan dalam tahap uji toksisitas akut. Berikut salah satu perhitungan kandungan toksikan pada tahap uji toksisitas akut.

Nilai BOD dalam 6,84% limbah lindi pada tahap uji toksisitas akut.

Nilai 100% BOD (N_1) = 1.688 mg/L

Volume limbah (V_1) = 239,4 ml

pengamatan pada kematian ikan sebanyak 50% dari total biota uji tiap reaktor. Pengamatan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah jumlah kematian ikan setiap hari yang bertujuan untuk mengetahui tingkat toksisitas lindi terhadap biota uji pada tahap uji toksisitas akut. Kematian biota uji pada tahap uji toksisitas akut dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 4. 10 Grafik Mortalitas Ikan Pada Uji Toksisitas Akut
Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan Gambar grafik di atas, terlihat bahwa 100% kematian ikan terdapat pada konsentrasi 11,55%. Itu artinya, pada konsentrasi tersebut masih sangat toksik untuk keberlangsungan hidup ikan dan hal tersebut dinamakan efek toksik. Pada konsentrasi 6,84%; kematian ikan sebanyak 2 ekor. Pada konsentrasi 7,80%; rata-rata kematian ikan sebanyak 5 ekor. Pada konsentrasi 8,89% kematian ikan adalah 8 ekor. Pada konsentrasi 10,13% kematian ikan sebanyak 9 ekor. Dan pada konsentrasi 11,55% kematian ikan sebanyak 10 ekor. Kematian pada ikan disebabkan oleh beberapa faktor, yakni pH, suhu, DO, BOD, COD, TSS, dan N-Total. Berikut merupakan hasil analisa yang menyebabkan kematian biota uji:

1. Parameter pH

Hasil pengukuran nilai pH pada uji toksisitas akut disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 4. 10 Nilai pH Pada Tahap Uji Toksisitas Akut

Konsentrasi	Jam ke-			
	24 jam	48 jam	72 jam	96 jam
0,00%	8,47	8,53	8,52	7,78
6,84%	8,42	8,35	8,43	7,73
7,80%	8,47	8,48	8,52	7,17
8,89%	8,45	8,43	8,48	6,93
10,13%	8,52	8,4	8,43	6,74
11,55%	8,35	-	-	-

Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan data di atas, nilai pH pada konsentrasi 0% jam ke-24 menuju jam ke-48 mengalami peningkatan kemudian mengalami penurunan pada jam ke-72 dan jam ke-96. Nilai pH pada konsentrasi 6,84% pada jam ke-24 menuju jam ke-48 mengalami penurunan kemudian pada jam ke-72 mengalami peningkatan, dan pada jam ke-96 mengalami penurunan. Nilai pH untuk konsentrasi 7,80% pada jam ke-24 hingga jam ke-72 mengalami peningkatan kemudian pada jam ke-96 mengalami penurunan. Nilai pH pada konsentrasi 8,89% pada jam ke-24 menuju jam ke-48 mengalami penurunan kemudian pada jam ke-72 mengalami peningkatan, dan pada jam ke-96 mengalami penurunan. Pada konsentrasi 10,13% nilai pH pada jam ke-24 menuju jam ke-48 mengalami penurunan kemudian pada jam ke-72 mengalami peningkatan, dan pada jam ke-96 mengalami penurunan lagi. Untuk konsentrasi 11,55% pH hanya diukur pada jam ke-24 karena pada jam tersebut ikan sudah mengalami kematian 100%. Pada saat uji toksisitas akut, nilai pH berkisar antara 6,74-8,52. Menurut (Andria & Rahmaningsih, 2018), titik kematian ikan pada pH asam adalah 4 dan pada pH basa adalah 11. Sedangkan kisaran pH yang

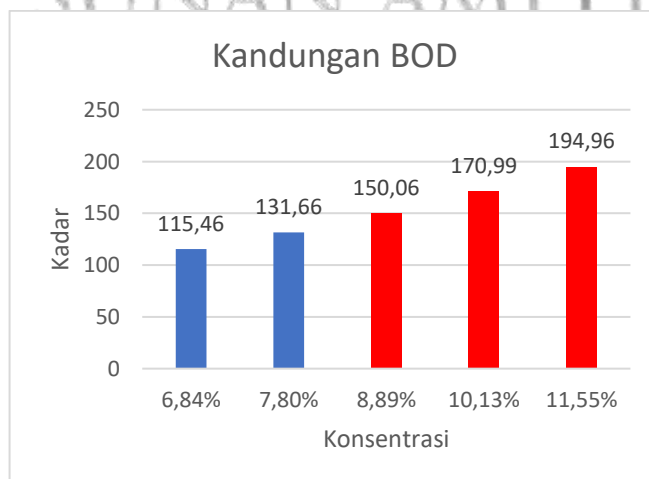
Tabel 4. 12 Nilai DO Pada Tahap Uji Toksisitas Akut

Konsentrasi	Jam ke-			
	24 jam	48 jam	72 jam	96 jam
0,00%	8,48	8,15	8,72	8,45
6,84%	8,41	8	8,57	8,24
7,80%	8,34	8,36	7,1	7,9
8,89%	8,32	7,47	7,61	7,53
10,13%	8,42	7,63	8,34	7,45
11,55%	8,67	-	-	-

Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan data di atas, nilai DO pada konsentrasi 0%; 6,87%; 8,89%; dan 10,13% jam ke-24 menuju jam ke-48 mengalami penurunan kemudian mengalami peningkatan pada jam ke-72 dan pada jam ke-96 mengalami penurunan lagi. Nilai DO untuk konsentrasi 7,80% pada jam ke-24 menuju jam ke-48 hingga jam ke-72 mengalami penurunan kemudian mengalami peningkatan lagi pada jam ke-96. Untuk konsentrasi 11,55% DO hanya diukur pada jam ke-24 karena pada jam tersebut ikan sudah mengalami kematian 100%. Pada saat uji toksisitas akut, nilai DO berkisar antara 7,1 – 8,72.

4. Parameter BOD

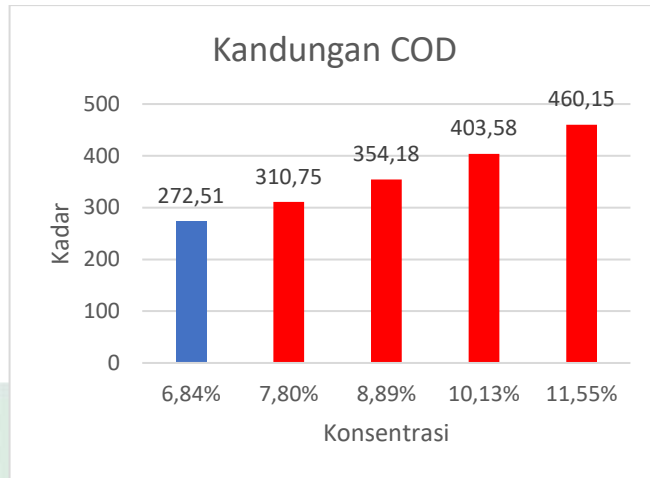


Gambar 4. 11 Kandungan BOD Pada Tahap Uji Toksisitas Akut

Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan Gambar 4.11 di atas, hasil analisis menunjukkan bahwa nilai BOD pada air lindi TPA pada tahap uji toksisitas akut sebesar 1.688 mg/L. Nilai tersebut melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 59 tahun 2016, yang mana batas maksimal BOD untuk lindi sebesar 150 mg/L. Pada tahap uji toksisitas akut dilakukan pengenceran dengan air PDAM. Sehingga nilai BOD pada konsentrasi 6,84% sebesar 115,46 mg/L, konsentrasi 7,80% sebesar 131,66 mg/L, konsentrasi 8,89% sebesar 150,06 mg/L, konsentrasi 10,13% sebesar 170,99 mg/L, dan konsentrasi 11,55% sebesar 194,96 mg/L. Nilai BOD setelah pengenceran masih di atas baku mutu kecuali pada konsentrasi 6,84% dan 7,80%. Sehingga, kematian biota uji pada konsentrasi 8,89%; 10,13%; dan 11,55% dapat disebabkan oleh tingginya kadar BOD. Tingginya kadar BOD menandakan kebutuhan oksigen oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik juga tinggi yang menyebabkan berkurangnya kandungan oksigen dalam air sehingga dapat menyebabkan kematian pada ikan (Kareliasari, 2021). Tingginya kadar BOD akan mempercepat pertumbuhan bakteri (GEPD, 2001). Semakin besar nilai BOD akan semakin kecil kadar oksigen terlarut sehingga dapat menyebabkan gangguan pada keberlangsungan hidup ikan. Tingginya nilai BOD pada effluent air lindi juga dapat disebabkan karena pengolahan lindi yang terjadi tidak efisien.

5. Parameter COD



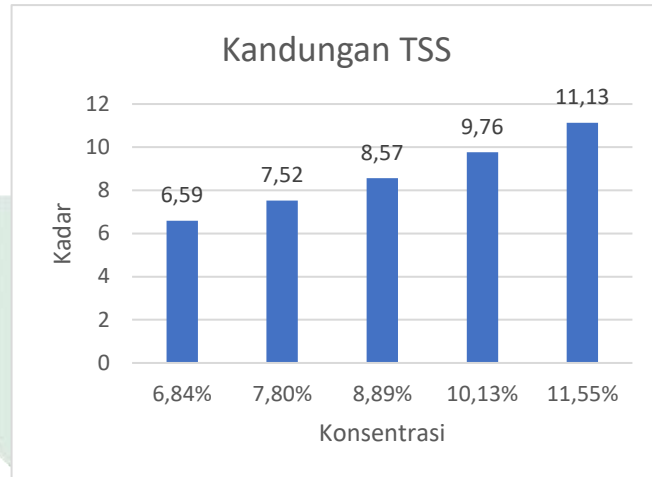
Gambar 4. 12 Kandungan COD Pada Tahap Uji Toksisitas Akut

Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan Gambar 4.12 di atas, hasil analisis menunjukkan bahwa nilai COD pada air lindi TPA pada tahap uji toksisitas akut sebesar 3.984 mg/L. Nilai tersebut melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 59 tahun 2016, yang mana batas maksimal COD untuk lindi sebesar 300 mg/L. Pada tahap uji toksisitas akut dilakukan pengenceran dengan air PDAM. Sehingga nilai COD pada konsentrasi 6,84% sebesar 272,51 mg/L, konsentrasi 7,80% sebesar 310,75 mg/L, konsnetrasi 8,89% sebesar 354,18 mg/L, konsentrasi 10,13% sebesar 403,58 mg/L, dan konsentrasi 11,55% sebesar 460,15 mg/L. Nilai COD setelah pengenceran masih diatas baku mutu kecuali pada konsentrasi 6,84% yaitu sebesar 272,51 mg/L. Sehingga, kematian biota uji pada konsentrasi 7,80%; 8,89%; 10,13%; dan 11,55% dapat disebabkan oleh tingginya kadar COD. Nilai COD tinggi mengindikasikan semakin besar tingkat pencemaran air yang terjadi oleh bahan-bahan organik. Nilai COD yang sangat tinggi berasal dari senyawa organik dalam air lindi yang sulit diuraikan oleh mikroba pada proses dekomposisi sampah (Rezagama *et al.*, 2016). Nilai COD yang

tinggi berbahaya bagi lingkungan karena dapat menurunkan kandungan oksigen terlarut dalam air (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

6. Parameter TSS

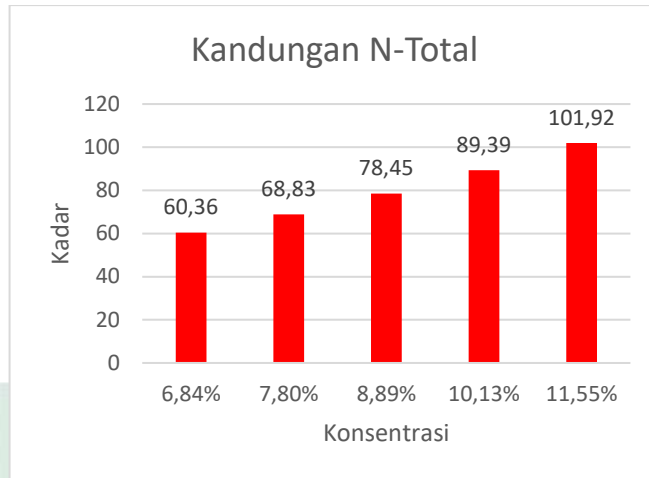


Gambar 4. 13 Kandungan TSS Pada Tahap Uji Toksisitas Akut

Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan Gambar 4.13 di atas, hasil analisis menunjukkan bahwa nilai TSS pada air lindi TPA pada tahap uji toksisitas akut sebesar 96,4 mg/L. Nilai tersebut melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 59 tahun 2016, yang mana batas maksimal TSS untuk lindi sebesar 100 mg/L. Pada tahap uji toksisitas akut dilakukan pengenceran dengan air PDAM. Sehingga nilai TSS pada konsentrasi 6,84% sebesar 6,59 mg/L, konsentrasi 7,80% sebesar 7,52 mg/L, konsnetrasi 8,89% sebesar 8,57 mg/L, konsentrasi 10,13% sebesar 9,76 mg/L, dan konsentrasi 11,55% sebesar 11,13 mg/L. Nilai TSS pada semua konsentrasi setelah pengenceran memenuhi baku mutu. Sehingga, kematian biota uji tidak disebabkan oleh kandungan TSS. Nilai TSS pada lindi TPA dipengaruhi beberapa faktor antara lain keadaan curah hujan, teknologi pengolahan lindi dan materi penyusun sampah.

7. Parameter N-Total



Gambar 4. 14 Kandungan N-Total Pada Tahap Uji Toksisitas Akut

Sumber: (Hasil Analisis, 2023)

Berdasarkan Gambar 4.14 di atas, hasil analisis menunjukkan bahwa nilai N-Total pada air lindi TPA pada tahap uji toksisitas akut sebesar 882,4 mg/L. Nilai tersebut melebihi baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No. 59 tahun 2016, yang mana batas maksimal N-Total untuk lindi sebesar 60 mg/L. Pada tahap uji toksisitas akut dilakukan pengenceran dengan air PDAM. Sehingga nilai N-Total pada konsentrasi 6,84% sebesar 60,36 mg/L, konsentrasi 7,80% sebesar 68,83 mg/L, konsentrasi 8,89% sebesar 78,45 mg/L, konsentrasi 10,13% sebesar 89,39 mg/L, dan konsentrasi 11,55% sebesar 101,92 mg/L. Nilai N-Total pada semua konsentrasi setelah pengenceran masih diatas baku mutu Sehingga, kematian biota uji pada konsentrasi 6,84%; 7,80%; 8,89%; 10,13%; dan 11,55% dapat disebabkan oleh tingginya kadar N-Total. Nitrogen menyebabkan penurunan kadar DO dalam air. Nitrogen di perairan merupakan polutan yang dapat menyebabkan penyuburan sehingga sistem perairan terganggu. Terganggunya keseimbangan sistem perairan dapat

analisis probit. Analisis probit merupakan analisis untuk menentukan toksisitas relatif dari bahan uji untuk organisme hidup (Hertika, dkk., 2022). Perhitungan LC₅₀-96 jam pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Data yang didapatkan pada tahap uji toksisitas akut digunakan untuk menghitung persentase kematian ikan. Rumus persentase kematian ikan sebagai berikut:

$$R = \frac{\sum \text{mortalitas}}{\sum \text{biota}} \times 100\%$$

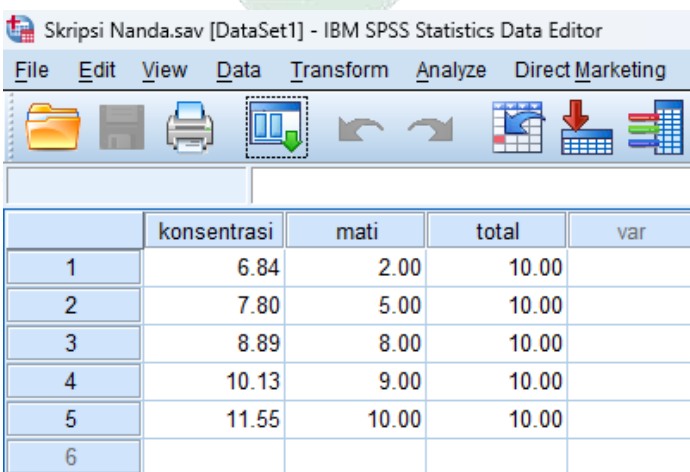
Contoh perhitungan: Konsentrasi limbah 7,80% yang mematikan biota uji sebanyak 5 ekor.

$$R = \frac{\sum \text{mortalitas}}{\sum \text{biota}} \times 100\%$$

$$R = \frac{5}{10} \times 100\%$$

$$= 50\%$$

2. Memasukkan data konsentrasi, kematian, dan total biota uji ke dalam SPSS. Berikut data yang dimasukkan ke dalam SPSS dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



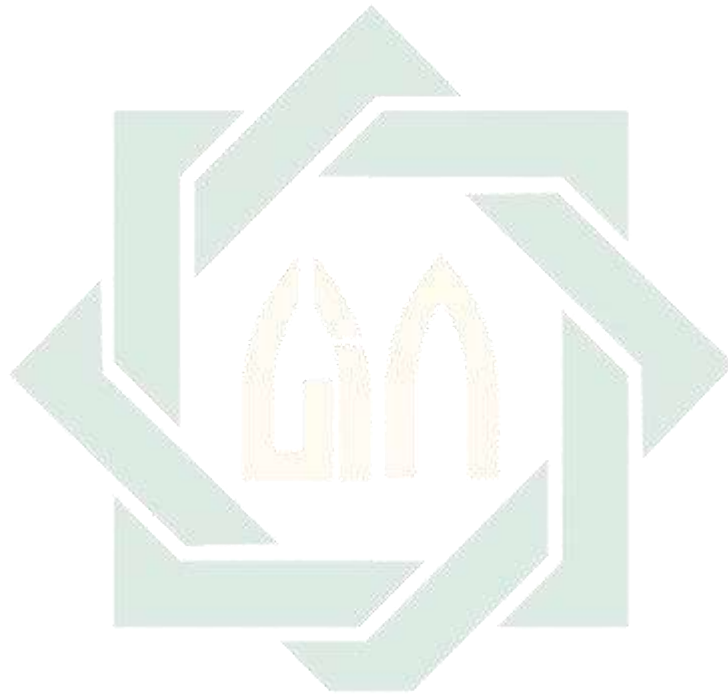
	konsentrasi	mati	total	var
1	6.84	2.00	10.00	
2	7.80	5.00	10.00	
3	8.89	8.00	10.00	
4	10.13	9.00	10.00	
5	11.55	10.00	10.00	
6				

Gambar 4. 16 Data Konsentrasi, Mortalitas, dan Total Pada SPSS

Sumber: (Dokumentasi Pribadi, 2023)

3. Setelah itu menjalankan SPSS dengan klik “Analyze” lalu klik “Regression” lalu klik “Probit” seperti pada Gambar di bawah ini.

Setelah diketahui nilai TUa lalu dibandingkan dengan kategori tingkat toksisitas akut berdasarkan tabel 2.3 klasifikasi tingkat toksisitas akut. Dapat disimpulkan bahwa nilai TUa berdasarkan tabel 2.3 klasifikasi tingkat toksisitas akut termasuk dalam kategori IV yang menunjukkan bahwa effluent UPL lindi dalam klasifikasi *High Acute Toxicity*.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan pada penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan yang didapatkan dari analisis probit mengenai nilai LC_{50} lindi TPA Tambakrigadung Lamongan terhadap ikan zebra (*Danio rerio*) mendapatkan hasil yaitu 7,836% dengan nilai TU_a sebesar 12,76.
2. Nilai LC_{50} lindi TPA Tambakrigadung Lamongan terhadap ikan zebra (*Danio rerio*) berdasarkan tabel 2.3 klasifikasi tingkat toksisitas akut termasuk dalam kategori IV yang menunjukkan bahwa effluent UPL lindi dalam klasifikasi *High Acute Toxicity*.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan pada penelitian ini, maka saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Perlu adanya penelitian selanjutnya dalam melakukan uji toksisitas akut air lindi dengan biota uji yang berbeda.
2. Hendaknya pemerintah lebih meningkatkan lagi kinerja kolam terakhir dari Unit Pengolahan Lindi sehingga diperoleh hasil effluent yang benar-benar memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan secara keseluruhan sebelum air lindi dibuang ke perairan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Y. T., & J. A. R., N. R. (2018). Ikan Patin (*Pengasius Sp*) Untuk Uji Toksisitas Akut Air Lindi. *Jurnal Envirotek*, 9(1), 56–62. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v9i1.1050>
- Angrianto, N. L., Manusawai, J., & Sinery, A. S. (2021). Analisis Kualitas Air Lindi dan Permukaan pada areal TPA Sowi Gunung dan Sekitarnya di Kabupaten Manokwari Papua Barat. *Cassowary*, 4(2), 221–233. <https://doi.org/10.30862/cassowary.cs.v4.i2.79>
- Azizah, M., & Maslahat, M. (2021). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb), Kadmium (Cd), dan Merkuri (Hg) di dalam Tubuh Ikan Wader (*Barbodes binotatus*) dan Air Sungai Cikaniki, Kabupaten Bogor. *Limnotek: Perairan Darat Tropis Di Indonesia*, 28(2), 83–93. <https://doi.org/10.14203/limnotek.v28i2.331>
- Baderna, D., Caloni, F., & Benfenati, E. (2019). Investigating landfill leachate toxicity in vitro: A review of cell models and endpoints. *Environment International*, 122(November 2018), 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.024>
- Bedog, S., Sc, M., & Ph, D. (2022). PEMANFAATAN KARBON AKTIF DENGAN AKTIVATOR ASAM KLORIDA (HCL) DARI CAMPURAN LIMBAH LOW-DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) DAN POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET) DALAM MENGATASI. 53–67.
- Besu, S and Sachidanandan, C. (2013). Zebrafish : A Multifaceted Tool for Chemical Biologists. *Chemical Review*, A-AC : 1-29.
- Dewanti, R.T.A., Andriana, D., Yahya, A. (2015), LC₅₀ Value of Dekokta Cat's Whiskers (*Orthosiphon stamineus*, Benth) in Embryos and Adult Zebrafish. *J. Doctor. Community* 3(1): 22-26

- Effendi, H. 2003. Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- Faradisha, N., Elystia, S., & Yenie, E. (2015). Uji Toksisitas Akut Effluent Pengolahan Lindi TPA Muara Fajar Terhadap Ikan Mas (*Cyprinus Carpio* L). *Jom Fteknik*, 2(2), 1–4.
- Ferro, J. P., Ferrari, L., & Eissa, B. L. (2021). Acute Toxicity Of Cadmium To Freshwater Fishes And Its Relationship With Body Size And Respiratory Strategy. *Comparative Biochemistry And Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 248, 109109. <https://doi.org/10.1016/J.Cbpc.2021.109109>
- Gaol, M. (2017). Life Cycle Assessment (Lca) Pengelolaan Sampah Pada Tempat Pemrosesan Akhir (Tpa) Sampah (Studi Kasus: Tpa Jabon, Kabupaten Sidoarjo). *Tugas Akhir Departemen Teknik Lingkungan FTSP ITS Surabaya*, 1-176.
- Goyer, R.A. 1986. Toxic Effects of Metals. pp582-635. *In*; Toxicology. The Basic of Science of Topics in Organometallic Chemistry 32: 1-20.
- Haz, F. L. (2018). *Studi Toksisitas Air Sampah (Lindi) Di IPL TPST Piyungan Menggunakan Metode Whole Effluent Toxicity (WET) Dengan Ikan Nila (Oreochromis niloticus)*. <https://dspace.uin.ac.id/handle/123456789/10092>
- Hertika, A. M. S. (2022). Uji Toksisitas Akut (LC50-96 JAM) Ekstrak *Caulerpa Lentillifera* Dengan Pelarut Metanol Dan Water Extract Terhadap Gula Darah Ikan Komet (*C. Auratus*). *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 6(3). <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2022.006.03.5>
- Hoffman, D. J. (Ed.). (2003). *Handbook Of Ecotoxicology* (2nd Ed). Lewis Publishers.
- Ibrahim, T. A., & Aris, M. (2020). Toksisitas Merkuri (Hg) pada struktur jaringan ikan. *E-Journal BUDIDAYA PERAIRAN*, 9(1), 54–63. <https://doi.org/10.35800/bdp.9.1.2021.31565>

- Istarani Festri dan Ellina S. Pandebesie. (2014). Dipake .Jurnal Ttg Dampak Dan Karakteristik Kadmium. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(1), 1–6.
- Karimah, U. (2021). Pengadaan Awal Fasilitas Pemeliharaan dan Upaya Perolehan Filial 1 (F1) Ikan Zebra (*Danio rerio*) sebagai Hewan Laboratorium. *Bioscientist: Jurnal Ilmiah Biologi*, 9(1), 142. <https://doi.org/10.33394/bjib.v9i1.3750>
- Kartikasari, I. B., Widyastuti, M., & Hadisusanto, S. (2020). Pengujian Toksisitas Lindi Instalasi Pengolahan Lindi TPA Piyungan pada *Daphnia* sp. dengan Whole Effluent Toxicity. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2), 297–304. <https://doi.org/10.14710/jil.18.2.297-304>
- Katsiadaki, I., Ellis, T., Andersen, L., Antczak, P., Blaker, E., Burden, N., Fisher, T., Green, C., Labram, B., Pearson, A., Petersen, K., Pickford, D., Ramsden, C., Rønneseth, A., Ryder, K., Sacker, D., Stevens, C., Watanabe, H., Yamamoto, H., ... Jacobs, M. N. (2021). Dying for change: A roadmap to refine the fish acute toxicity test after 40 years of applying a lethal endpoint. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 223 (May). <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112585>
- Kurniati, T. R., & Mujiburohman, M. (2020). Pengaruh Beda Potensial dan Waktu Kontak Elektrokoagulasi Terhadap Penurunan Kadar COD dan TSS pada Limbah Cair Laundry. *The 11th University Research Colloquium 2020 Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta*, 309–313.
- Laili, F. (2021). Analisa Kualitas Air Lindi Dan Potensi Penyebarannya Ke Lingkungan Sekitar Tpa Gunung Tugel Kabupaten Banyumas. *Akhir, Tugas Lingkungan, Jurusan Teknik Teknik, Fakultas Dan, Sipil Indonesia, Universitas Islam*.
- Larasati, A. I., Susanawati, L. D., & Suharto, B. (2015). The Effectiveness of Heavy Metals Adsorptions on Leachate by Activated Carbon, Zeolite, and

- Silica Gel in TPA Tlekung, Batu. *Sumber Daya Alam Dan Lingkung*, 2(1), 44–48.
- Leachate, T., Biosorbent, W., Kepok, N., & Mortality, P. T. (n.d.). *TOKSISITAS*. 179–189.
- Lee, A.H., Nikraz, H., Hung, Y.T. 2010. Influence of Waste Age on Landfill Leachate Quality. *Internation Juournal of Environmental Science and Development*, 1:347-350.
- Leuwol, C. F., Lumban Batu, D. T. F., & Affandi, R. (2019). Acute Toxicity Test Of Carbamate Insecticide On Common Carp, *Cyprinus Carpio* Linnaeus, 1758. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 18(3), 191.
- Martínez-Sales M, García-Ximénez F, Espinós FJ. 2015. Zebrafish as a possible bioindicator of organic pollutants with effects on reproduction in drinking waters. *Journal of Environmental Sciences*, 33: 254-60.
- Muharrimah, S. Z. Z., Halang, B., & Mahrudin, M. (2021). Keragaman Ikan Genus *Barbodes* di Sungai Nagara Desa Pandak Daun Kecamatan Daha Utara. *Wahana-Bio: Jurnal Biologi Dan Pembelajarannya*, 13(2), 112. <https://doi.org/10.20527/wb.v13i2.11339>
- Muliawati, R. F., Afiuddin, A. E., & Setiani, V. (2020). Prediksi Dampak Lingkungan Pengolahan Sampah secara Termal dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA) Studi Kasus: TPA Tambakrigadung Kabupaten Lamongan. *National Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*, 3(1), 251–255. <blob:resource://pdf.js/3bdc4166-f43f-4f14-8d44-9d0e7a836151>
- Noviana, I., & Prinajati, D. (2021). Tingkat Toksisitas Limbah Laundry Terhadap Ikan Mas (*Cyprinus Carpio*).
- Nuha, A. U., B, F. P. M. H., & Mubarok, I. (2016). Toksisitas Letal Akut Limbah Cair Tenun Troso Terhadap Ikan Mas (*Cyprinus Carpiol.*). *Life Science*

- Nurmaja, I., Rima Setyawati, T., & Lovadi, I. (2014). Perbaikan kualitas lindi TPA Batu Layang menggunakan arang batok kelapa, arang kulit durian dan pasir. *Protobiont*, 3(3), 56–62.
- OECD. (1992). *Oecd Guideline For Testing Of Chemicals*. Council Of United Kingdom.
- OECD, O. (2019). *Oecd Guideline For Testing Of Chemicals (Fish Acute Toxicity Test)*.
- Of, A., Distribution, L., & Puuwatu, I. (2010). *Analisis Persebaran Lindi Tempat Pemrosesan Akhir (Tpa) Puuwatu Analysis Of Leachate Distribution In Puuwatu Landfill*. x, 69–79.
- Okpala COR, Sardo G, Vitale S, Bono G, Arukwe A. 2018. Hazardous properties and toxicological update of mercury: From fish food to human health safety perspective. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(12): 1986-2001, DOI: 10.1080/10408398.2017.1291491
- Parichy, D. M. (2015). Advancing biology through a deeper understanding of zebrafish ecology and evolution. *ELife*, 4, 1–11. <https://doi.org/10.7554/eLife.05635>
- Permana, R., Andhikawati, A., Ferdian, F., & Wahyu, D. (2022). Mekanisme Toksisitas Logam Kadmium Terhadap Fitoplankton : Review. *Marinade*, 5(01), 54–61. <https://doi.org/10.31629/marinade.v5i01.4307>
- PERMEN LHK NO.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016. (2016). Tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah. Indonesia: Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Program, M., & Teknik, S. (2022). *FITOREMEDIASI LOGAM BERAT BESI (Fe) MENGGUNAKAN TANAMAN PURUN TIKUS (Eleocharis dulcis) PADA AIR LINDI UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH 2022 M / 1443 H*.

- Purwanta, W., & Susanto, J. P. (2017). Laju Produksi dan Karakterisasi Polutan Organik Lindi dari TPA Kaliwlingi, Kabupaten Brebes. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 18(2), 157. <https://doi.org/10.29122/jtl.v18i2.2036>
- Rajoo, K. S., Karam, D. S., Ismail, A., & Arifin, A. (2020). Evaluating the leachate contamination impact of landfills and open dumpsites from developing countries using the proposed Leachate Pollution Index for Developing Countries (LPIDC). *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, 14(September), 100372. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100372>
- Ramadhani, J., Asrifah, R. D., & Wahyuning, I. (2019). Pengolahan Air Lindi Menggunakan Metode Constructed Wetland di TPA Sampah Tanjungrejo, Desa Tanjungrejo, Kecamatan Jekulo, Kabupaten Kudus. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan*, 1(2), 1–8. <http://jurnal.upnyk.ac.id/index.php/kebumihan/article/view/3280>
- Rohmani, I. (2014). *Uji Toksisitas Akut Limbah Cair Pabrik Tahu Pada Ikan Nila (Oreocromis niloticus) dan Tumbuhan Kayu Apu (Pistia stratiotes)*. 1–171.
- Said, N. I., & Hartaja, D. R. K. (2018). Pengolahan Air Lindi Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob Dan Denitrifikasi. *Jurnal Air Indonesia*, 8(1). <https://doi.org/10.29122/jai.v8i1.2380>
- Sains, F., Teknologi, D. A. N., Ar-raniry, U. I. N., & Aceh, B. (2022). *TOKSISITAS AKUT LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT PADA IKAN ZEBRA (Brachydanio rerio)*.
- Sari, A. H. K. (2022). *UJI TOKSISITAS AKUT PESTISIDA DAN KROM (Cr) TERHADAP IKAN NILA (Oreo sp)*. 1–73.
- Sari, R. N. (2017). 291673176. 2012, 93–99.
- Sembel, D. T. (2015). Toksikologi Lingkungan. *Universitas Sam Ratulangi Manado*.

- Sfakianakis, D. G., Leris, I., & Kentouri, M. (2011). Effect of developmental temperature on swimming performance of zebrafish (*Danio rerio*) juveniles. *Environmental Biology of Fishes*, 90(4), 421–427. <https://doi.org/10.1007/s10641-010-9751-5>
- Sinta Agnes Wijaya, Hendra Riogilang, O. B. A. S. (2022). Analisis Kapasitas Pengolahan Air Lindi Di TPA Aertembaga Kota Bitung. *Ejournal Unsrat*, 20.
- Standart Nasional Indonesia 6989.59. 2008. (2008). Tentang Air Dan Air Limbah Bagian 59: Metoda Pengambilan Contoh Air Limbah.
- Sumarsono, W., Oktawan, W., & Zaman, B. (2016). Pengaruh Penambahan Lindi dan MOL Tapai Terhadap Waktu Pengomposan. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(4), 1–9.
- Sururi, M. R., Saleh, S. A., & Krisna, A. (2014). Pengolahan Lindi Dengan Ozon Dan Proses Oksidasi Lanjut Berbasis Ozon. *Reaktor*, 15(1), 20. <https://doi.org/10.14710/reaktor.15.1.20-26>
- Sutarjo, G. A., Andriyawan, S., & Aiman, F. (2021). STUDI ALOMETRI DAN HUBUNGAN PANJANG BERAT IKAN TAWES (*Barbonymus gonionotus*) DI ALIRAN SUNGAI DEMPOK DESA GAMPINGAN KECAMATAN PAGAK KABUPATEN MALANG JAWA TIMUR. *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia*, 9(2), 130–139. <https://doi.org/10.36706/jari.v9i2.15636>
- Syuzita, A., Meiliyadi, L. A. D., & Bahtiar, B. (2022). Tingkat Pencemaran Lindi Pada Air Tanah Dangkal Di Sekitar TPA Kebon Kongok Menggunakan Parameter Fisika dan Kimia. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 19(2), 126. <https://doi.org/10.20527/flux.v19i2.13030>
- Toksisitas, U. J. I. M., & Us-epa, B. (n.d.). *Kelompok 8 Jurusan Kesehatan Lingkungan*.

- Tinggi, S., Yuswan, A., Bara, B. Al, Farhani, D., Utami, M. R., Karawang, U. S., & Timur, T. (2023). *Literature review: cemaran kadar logam berat merkuri (hg) pada beberapa jenis ikan di wilayah nusantara*. 12(1), 37–42.
- USEPA. (2002). *Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms Fifth Edition*.
- USEPA. (2004). *Chemical Hazard Classification And Labeling : Comparison Of Opp Requirements And The Ghs*.
- USEPA. (2012). *Ecological Effects Test Guidelines OCSP 850.4500: Algal Toxicity*.
- Watts, R.J. 1997. *Hazardous Waste: Sources, Pathways, Receptors*. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Wdowczyk, A., & Szymańska-Pulikowska, A. (2021). Analysis of the possibility of conducting a comprehensive assessment of landfill leachate contamination using physicochemical indicators and toxicity test. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112434>
- Widyaningyun, D. N., Sampah, B., & Green, K. (2022). *Menciptakan Kampung Green and Clean Di Desa*. 8(14), 486–499.
- Wiyanti, R. I., & Juliardi, N. R. (2018). UJI TOKSISITAS LINDI TPA BENOWO MENGGUNAKAN IKAN TAWES (*Barbonymus gonionotus*) SEBAGAI BIOTA UJI. *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 8(2), 69–77.
- Yulianto, & Amaloyah, N. (2017). *Bahan Ajar Kesehatan Lingkungan, Toksikologi Lingkungan*.