



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

**Uji Toksisitas Limbah Domestik pada IPAL Komunal di
Kecamatan Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta terhadap
Embrio Ikan Zebra (*Danio rerio*) Menggunakan Metode *Fish
Embryo Toxicity (FET)***

Tika Puspita Sari

21513071

Dosen Pembimbing:

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

Dr. Apt. Farida Hayati, S.Si., M.Si.

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Universitas Islam Indonesia

2025



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Domestic Waste Toxicity Test at Communal Wastewater Treatment Plant in Bantul District, Special Region of Yogyakarta on Zebra Fish Embryos (*Danio rerio*) Using the Fish Embryo Toxicity (FET) Method

Tika Puspita Sari

21513071

Supervisor:

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

Dr. Apt. Farida Hayati, S.Si., M.Si.

Environmental Engineering Bachelor Program

Faculty of Civil Engineering and Planning

Universitas Islam Indonesia

2025

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Uji Toksisitas Limbah Domestik pada IPAL Komunal di Kecamatan Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta terhadap Embrio Ikan Zebra (*Danio rerio*) Menggunakan Metode Fish Embryo Toxicity (FET)

Tugas akhir ini disusun dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

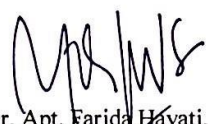
Tika Puspita Sari

21513071

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 15 Juli 2025 dan disetujui oleh:


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

(Pembimbing 1)


Dr. Apt. Farida Hayati, S.Si., M.Si.

(Pembimbing 2)

 22/25
Dr. Supria Rahmawati, S.T., M.T.

(Penguji 1)

Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana



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

PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia, maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan, dan studi saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Perangkat lunak atau program komputer yang digunakan dalam tugas akhir ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya. Bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Tidak ada penggunaan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*, AI) dalam penyusunan karya tugas akhir ini kecuali:
 - a. untuk membantu dalam kadar yang wajar (seperti membantu mengoreksi, mencari ide, dan mencari referensi), dan
 - b. tercantum dan dijelaskan perihal penggunaannya secara eksplisit di dalam karya tugas akhir ini.Implikasi dari penggunaan AI tersebut menjadi tanggung jawab saya sepenuhnya.
6. Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya. Apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 Juli 2025

Yang membuat pernyataan,



Tika Puspita Sari

21513071

PRAKATA

Segala puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atsa segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini, tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelas Sarjana Teknik Lingkungan pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dalam proses penyusunannya, saya telah menerima banyak bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya ingin menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua saya, Ibu Siti Fatimah dan Bapak Edi Sutiono yang doa dan kasih sayangnya tak pernah putus mengiringi setiap langkah saya. Dalam diam, mereka selalu menjadi kekuatan terbesar yang mendorong saya untuk terus bertahan dan berjuang, bahkan ketika saya sendiri merasa lelah dan putus asa. Terima kasih atas cinta yang tulus, pengorbanan yang tak pernah dihitung, serta kesabaran tanpa batas. Setiap pencapaian dalam hidup saya, termasuk terselesaikannya tugas akhir ini, adalah buah dari doa-doa yang kalian panjatkan setiap harinya. Semoga Allah membalas segala kebaikan dan cinta yang telah kalian curahkan dengan keberkahan yang tak pernah berujung.
2. Ibu Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng.), Ph.D. dan Ibu Dr. Apt. Farida Hayati, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikirannya untuk membimbing, memberikan motivasi, serta memberi arahan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. seaaku dosen penguji Tugas Akhir yang memberikan bimbingan, motivasi serta arahan kepada saya dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen Program Studi Teknik Lingkungan UII yang telah memberikan banyak ilmunya kepada saya, serta seluruh staff

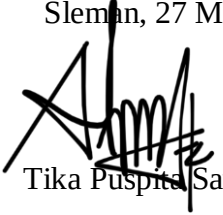
laboratorium yang telah banyak membantu saya dalam proses penelitian.

5. Bapak Yuono selaku pengurus IPAL Manden serta bapak-bapak yang telah membantu meluangkan waktu dan tenaganya untuk membantu peneliti dan pengambilan sampel uji.
6. Rasyid Al-Haidar selaku saudara kandung penulis yang selalu memberikan semangat.
7. Sahabat penulis, Nabila Utami dan Wahyu Agustin Putri selaku teman seperjuangan dari awal perkuliahan hingga akhir, yang selalu memberikan semangat, masukan, motivasi, saling menguatkan satu sama lain.
8. Tim penelitian toksikologi (Hana, Febi, Caca, Intan, Kanza, dan Tata) yang telah banyak meluangkan waktu dan tenaga dan membantu selama proses penelitian ini.
9. Teman-teman KKN 321 CHEESE (Hening, Aza, Tiara, Yuriska, Nisa, Gibran, Bagus dan Jaki) yang telah menemani dan memberikan kesan baik selama masa-masa akhir perkuliahan penulis. Terimakasih new pamili.
10. Teman-teman seperjuangan saya Teknik Lingkungan Angkatan 2021 (terutama Kiki, Nailun, dan Amel) yang telah membantu dan memberi masukan kepada saya.
11. Penulis juga ingin menyampaikan rasa terimakasih yang tulus pada ketiga belas orang yang bukan hanya menghibur, tetapi karena semangat, kerja keras, dan ketulusan mereka yang tanpa sadar telah menjadi penguat dalam proses saya menyelesaikan tugas akhir ini. Terima kasih telah menjadi cahaya kecil yang menuntun saya melewati hari-hari sulit. Untuk semua tawa, tangis, dan kekuatan yang kalian bagikan..terimakasih banyak.

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantuk penulis baik secara moril dan materil. Saya berharap semoga Allah SWT membalasa kebaikan semua pihak yang membantu. Saya

menyadari bahwa naskah skripsi ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat dibutuhkan untuk kebaikan penulis dimasa mendatang. Besar harapan saya, semoga Tugas Akhir ini memberikan manfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan khususnya dibidang Teknik Lingkungan. ***Aamiin Yarabbal Alamin.***

Sleman, 27 Mei



Tika Puspita Sari

**Uji Toksisitas Limbah Domestik pada IPAL Komunal di
Kecamatan Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta terhadap
Embrio Ikan Zebra (*Danio rerio*) Menggunakan Metode *Fish
Embryo Toxicity* (FET)**

Mahasiswa : Tika Puspita Sari
NIM : 21513071
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing : Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng)., Ph.D.
Dr. Apt. Farida Hayati, S.Si., M.Si

Abstrak

Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari aktivitas hidup sehari-hari manusia yang berhubungan dengan pemakaian air. Pelepasan limbah yang tidak diolah atau tidak diolah dengan benar dapat membahayakan kualitas air penerima, mengganggu keseimbangan lingkungan, menimbulkan risiko bagi kesehatan serta menjadi sumber utama pencemaran air. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis profil ketoksikan akut, kualitas parameter fisik kimia, serta keterkaitan antara hasil uji toksisitas dengan kualitas parameter fisik kimia limbah *influent* dan *effluent* di IPAL Komunal Manden. Uji toksisitas menggunakan metode FET berdasarkan OECD 236. Pengujian menggunakan embrio ikan zebra yang terbagi menjadi 8 kelompok uji dengan 6 perlakuan sampel influen dan efluen air limbah IPAL Komunal (3,1%, 6,25%, 12,5%, 25%, 50%, 100%), 1 kelompok kontrol positif (3,4 *Dichloroaniline*), dan 1 kelompok kontrol negatif (*dilution water*). Masing-masing larutan uji diamati setiap 24 hingga 96 jam kemudian dihitung nilai LC_{50} nya. Dilakukan analisis kimia parameter suhu, Ph, TSS, TDS, BOD, COD, Ammonia, minyak lemak, detergen, dan total coliform. Hasil uji toksisitas menunjukkan bahwa sampel air limbah pada konsentrasi tertinggi 100% mampu menghasilkan mortalitas embrio sebesar 18 – 20 embrio serta abnormalitas. Beberapa parameter uji kimia belum memenuhi baku mutu dalam Perda DIY No.7 Tahun 2016. Berdasarkan pengujian, diperoleh nilai LC_{50} influen air limbah sebesar 30,2% sedangkan LC_{50} efluen air limbah sebesar 65,6%. Artinya karakteristik air limbah berkaitan dengan tingkat toksisitas hewan uji.

Kata kunci: Embrio ikan zebra, LC_{50} , IPAL Komunal, Toksisitas.

***Domestic Waste Toxicity Test at Communal Wastewater
Treatment Plant in Bantul District, Special Region of
Yogyakarta on Zebra Fish Embryos (Danio rerio) Using the
Fish Embryo Toxicity (FET) Method***

Student : Tika Puspita Sari
Student Number : 21513071
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : Any Juliani, S.T., M.Sc.(Res.Eng)., Ph.D.
Dr. Apt. Farida Hayati, S.Si., M.Si

Abstract

Domestic wastewater is wastewater that comes from human daily life activities related to water use. The release of untreated or improperly treated waste can endanger the quality of the receiving water, disrupt the environmental balance, pose a risk to health and become a major source of water pollution. This study aims to analyze the acute toxicity profile, the quality of physical and chemical parameters, and the relationship between the results of the toxicity test with the quality of physical and chemical parameters of influent and effluent waste at the Manden Communal Wastewater Treatment Plant. The toxicity test used the FET method based on OECD 236. The test used zebrafish embryos divided into 8 test groups with 6 treatments of influent and effluent samples of Communal Wastewater Treatment Plant (3.1%, 6.25%, 12.5%, 25%, 50%, 100%), 1 positive control group (3.4 Dichloroaniline), and 1 negative control group (dilution water). Each test solution was observed every 24 to 96 hours and then its LC₅₀ value was calculated. Chemical analysis of temperature, pH, TSS, TDS, BOD, COD, Ammonia, fatty oil, detergent, and total coliform parameters was carried out. The results of the toxicity test showed that the wastewater sample at the highest concentration of 100% was able to produce embryo mortality of 90% - 100% and abnormalities. Several chemical test parameters have not met the quality standards in DIY Regional Regulation No. 7 of 2016. Based on the test. The LC₅₀ value of wastewater influent was 30.2% while the LC₅₀ value of wastewater effluent was 65.6%. This means that the characteristics of wastewater are related to the level of toxicity of test animals. Keywords: Embryo, toxicity, zebrafish, Communal WWTP.

Keywords: Zebrafish embryo, LC₅₀, Communal WWTP, Toxicity.

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	i
Abstrak.....	i
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL	i
DAFTAR GAMBAR.....	i
DAFTAR LAMPIRAN.....	i
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.2 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Air Limbah Domestik.....	4
2.2 Karakteristik Air Limbah.....	5
2.3 <i>Anaerobic Baffled Reactor</i> (ABR).....	9
2.2 Uji Toksisitas	10
2.2.1 Ikan Zebra (<i>Danio rerio</i>)	11
2.2.2 Prinsip Fish Embryo Toxicity (FET).....	12
2.2.3 Validitas Pengujian	14
2.2.4 Senyawa 3,4- <i>Dichloroaniline</i> (DCA).....	15
2.2.5 Lethal Concentration LC50	15
2.3 Penelitian Terdahulu.....	15
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Metode Penelitian.....	19
3.2 Lokasi Penelitian	19

3.3	Alat dan Bahan.....	20
3.3.1	Alat	20
3.3.2	Bahan.....	21
3.4	Pengumpulan Data	21
3.4.1	Sampling Air Limbah.....	21
3.4.2	Persiapan Pra Uji Toksisitas	22
3.4.2.1	Pemeliharaan Ikan Zebra	22
3.4.2.1	Produksi Embrio.....	22
3.4.3	Pelaksanaan Uji Toksisitas	22
3.4.3.1	Prosedur Uji	22
3.4.3.2	Pengamatan	24
3.4.4	Analisis Kimia Limbah.....	25
3.4.5	Analisis Data Uji Toksisitas	26
3.4.6	LC50 (<i>Lethal Concentration</i>)	26
3.4.7	<i>Toxicity Unit Aqute</i> (Tua).....	27
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1	<i>Ethical Clearance</i>	28
4.2	Karakteristik Air Limbah.....	28
4.3	Uji Toksisitas	33
4.3.1	Seleksi Embrio Ikan Zebra.....	33
4.3.2	Validitas Uji	33
4.3.3	Hasil Uji Toksisitas Akut Air Limbah Influen dan Efluen IPAL Komunal pada Embrio Ikan Zebra.....	34
4.3.3.1	Embrio yang Mengalami Kematian.....	35
4.3.3.2	Embrio yang Mengalami Pembentukan Somit	37
4.3.3.3	Lepasnya Bagian Kuncup Ekor dari Kuning Telur	40
2.3.3.4	Adanya Detak Jantung	42
4.3.3.5	Embrio yang Mengalami <i>Hatching</i>	44
4.3.3.6	Embrio Ikan Zebra yang Mengalami Malformasi dan Kelainan Akibat Keterlambatan	47
4.4	Lethal Concentration (LC50).....	52

4.5 Toxicity Unite Acue (Tua).....	52
4.6 Keterkaitan Karakteristik Air Limbah dengan Tingkat Toksisitas Hewan Uji.....	53
BAB V PENUTUP	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	60
RIWAYAT HIDUP	76

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Domestik	4
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu	15
Tabel 3. 1 Parameter Pengamatan	24
Tabel 3. 2 Metode dan Acuan Analisis Fisik, Kimia & Biologi Limbah.....	25
Tabel 3. 3 Klasifikasi Toksisitas Akut.....	27
Tabel 4. 1 Hasil Uji Kualitas Influen dan Efluen IPAL Komunal Manden	28
Tabel 4. 5 Nilai LC50	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4. 6 Hasil Perhitungan Nilai TUa	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Teknologi ABR	9
Gambar 2. 2 Ikan Zebra (<i>Danio rerio</i>)	12
Gambar 2. 3 Skema Prosedur Uji Toksisitas Akut pada Embrio Ikan Zebra.....	13
Gambar 2. 4 (A) Pembentukan somit; (B) Lepasnya bagian tail-bud dari yolk; (C) Koagulasi embrio; (D) Adanya jantung	14
 Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	19
Gambar 3. 2 Diagram Alir Prosedur Pengujian	24
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pemilihan Metode Analisis Data LC50.....	26
 Gambar 4. 1 Embrio Umur 2,75 Jam.....	33
Gambar 4. 2 Grafik Hasil Kelompok Kontrol.....	34
Gambar 4. 3 Grafik Jumlah Embrio Hidup dan Mati pada Pemaparan Air Limbah Influen IPAL Komunal.....	35
Gambar 4. 4 Grafik Jumlah Embrio Hidup dan Mati pada Pemaparan Air Limbah Efluen IPAL Komunal.....	35
Gambar 4. 5 Koagulasi pada Konsentrasi 3,1%.....	36
Gambar 4. 6 Embrio yang Mengalami Pembentukan Somit pada Konsentrasi 3,1%	38
Gambar 4. 7 Grafik Embrio Ikan Zebra yang Mengalami Pembentukan Somit pada Paparan Air Limbah Influen IPAL Komunal	38
Gambar 4. 8 Grafik Embrio Ikan Zebra yang Mengalami Pembentukan Somit pada Paparan Air Limbah Efluen IPAL Komunal	39
Gambar 4. 9 Embrio yang Mengalami Pelepasan Kuncup Ekor dari Kuning Telur pada Konsentrasi 50%	40
Gambar 4. 10 Grafik Embrio Ikan Zebra yang Mengalami Pelepasan Tail-bud dari Yolk pada Paparan Air Limbah Influen IPAL Komunal.....	41
Gambar 4. 11 Grafik Embrio Ikan Zebra yang Mengalami Pelepasan Tail-bud dari Yolk pada Paparan Air Limbah Efluen IPAL Komunal.....	41
Gambar 4. 12 Grafik Adanya Detak Jantung Embrio Ikan Zebra pada Paparan Sampel Air Linbah Influen IPAL Komunal.....	43
Gambar 4. 13 Grafik Adanya Detak Jantung Embrio Ikan Zebra pada Paparan Sampel Air Linbah Efluen IPAL Komunal.....	43
Gambar 4. 14 Grafik Embrio Ikan Zebra yang Hatching pada Paparan Sampel Air Linbah Influen IPAL Komunal	45
Gambar 4. 15 Grafik Embrio Ikan Zebra yang Hatching pada Paparan Sampel Air Linbah Efluen IPAL Komunal.....	45

Gambar 4. 16 Grafik Embrio yang Mengalami Malformasai dan Kelainan Akibat Keterlambatan Pembentukan Parameter pada Paparan Air Limbah Influen IPAL Komunal.....	47
Gambar 4. 17 Grafik Embrio yang Mengalami Malformasai dan Kelainan Akibat Keterlambatan Pembentukan Parameter pada Paparan Air Limbah Influen IPAL Komunal.....	48
Gambar 4. 18 Embrio Normal selama 96 jam Pemaparan.....	49
Gambar 4. 19 Malformasi edema kantung kuning telur dan somit tidak lurus	49
Gambar 4. 20 Edema perkardium, edema kantung kuning dan abnormalitas ekor	49
Gambar 4. 21 Akumulasi darah di bawah kantung kuning telur.....	49
Gambar 4. 22 Pembentukan somit yang tidak lurus dan akumulasi darah di bawah kantung kuning telur	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Ethical Clerance</i>	60
Lampiran 2 Data Pengamtan <i>Negatif Control</i>	61
Lampiran 3 Data Pengamatan Negatif Positif	62
Lampiran 4 Data Pengamatan Influen IPAL Komunal	63
Lampiran 5 Data Pengamatan Efluen IPAL Komunal	64
Lampiran 6 Perhitungan Nilai LC50.....	65
Lampiran 7 Perhitungan Nilai LC50.....	68
Lampiran 8 Hasil Uji Parameter Kimia.....	71
Lampiran 9 Dokumentasi Penelitian	74

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aktivitas penduduk yang beranekaragam turut berpengaruh pada jenis limbah yang dihasilkan. Sebagai contoh yaitu air limbah domestik. Air limbah domestik adalah segala aktivitas yang berhubungan dengan penggunaan air yang dapat berasal dari berbagai sumber rumah tangga, termasuk kamar mandi, ruang cuci, dapur serta toilet. Pelepasan limbah yang tidak diolah atau tidak diolah dengan benar dapat membahayakan kualitas air penerima, mengganggu keseimbangan lingkungan, menimbulkan risiko bagi kesehatan serta menjadi sumber utama pencemaran air (da Silva et al., 2021). Oleh karena itu, sebelum dibuang ke lingkungan, air limbah domestik atau rumah tangga harus melalui proses pengolahan terlebih dahulu.

Instalasi Pengolahan Air Limbah Komunal, yaitu sistem pengolahan limbah yang dilakukan secara bersama-sama oleh sejumlah rumah tangga guna menurunkan kadar pencemar supaya memenuhi baku mutu yang aman bagi lingkungan. IPAL Komunal menjadi alternatif yang tepat karena mudah dalam perawatan maupun pemeliharaannya. Sistem ini juga cocok digunakan di wilayah dengan keterbatasan lahan serta belum terjangkau oleh sistem pengolahan limbah terpusat. Air limbah yang masuk ke IPAL Komunal berasal dari berbagai sumber. Oleh karena itu, air limbah yang masuk ke IPAL Komunal dapat mengandung campuran berbagai macam zat yang digunakan dalam kehidupan modern.

Meskipun IPAL Komunal dirancang untuk mengurangi beban pencemar, keberadaan sisa toksik yang masih ada dalam air hasil olahan dapat berdampak buruk pada organisme akuatik di badan air penerima. Oleh karena itu, biomonitoring terhadap hasil olahan limbah cair pada IPAL Komunal perlu dilakukan untuk memastikan bahwa air tersebut aman dibuang ke lingkungan. Salah satu bentuk biomonitoring tersebut adalah pengujian toksisitas yang bertujuan mengevaluasi dampak limbah domestik terhadap organisme uji, baik sebelum maupun sesudah pengolahan.

Metode *Fish Embryo Toxicity* (FET) merupakan bentuk uji toksisitas akut yang memanfaatkan embrio ikan zebra (*Danio rerio*). Uji ini tidak hanya mengukur toksisitas berdasarkan tingkat kematian, tetapi juga dapat mengidentifikasi gejala toksik lainnya, seperti penggumpalan sel telur yang telah dibuahi, kegagalan pembentukan somit, tidak terlepasnya kuncup ekor dari kantung kuning telur, tidak adanya detak jantung, serta munculnya malformasi pada embrio. Penelitian ini penting karena meskipun sudah ada standar efluen yang menetapkan batas maksimum konsentrasi zat tertentu yang diizinkan dalam limbah namun sisa toksik yang masih ada dalam efluen IPAL Komunal dapat mempengaruhi kehidupan organisme akuatik, termasuk mortalitas dan gangguan perkembangan. Sehingga penelitian ini mengungkapkan profil ketoksikan akut dari influen dan efluen IPAL Komunal dengan menggunakan metode FET. Selain itu, penelitian ini berupaya menghubungkan keterkaitan antara hasil uji toksisitas dengan kualitas parameter fisik kimia limbah influen dan efluen IPAL Komunal.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Bagaimana profil ketoksikan akut limbah influen dan efluen IPAL Komunal Manden terhadap embrio ikan zebra (*Danio rerio*)?
- 2) Bagaimana kualitas parameter fisik kimia influen dan efluen di IPAL Komunal Manden?
- 3) Bagaimana keterkaitan antara hasil uji toksisitas dengan kualitas parameter fisik kimia limbah influen dan efluen di IPAL Komunal Manden?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

- 1) Menganalisis profil ketoksikan akut limbah influen dan efluen IPAL Komunal Manden terhadap embrio ikan zebra (*Danio rerio*).
- 2) Menganalisis kualitas parameter fisik kimia influen dan efluen di IPAL Komunal Manden.
- 3) Menganalisis keterkaitan antara hasil uji toksisitas dengan kualitas parameter fisik kimia limbah influen dan efluen di IPAL Komunal Manden

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

- 1) Bagi peneliti
 - a. Menerapkan ilmu pengetahuan yang didapatkan di perkuliahan terkait ilmu toksikologi lingkungan.
- 2) Bagi akademisi
 - a. Menambah pengetahuan terkait uji toksisitas menggunakan sampel lingkungan dengan menggunakan metode *Fish Embryo Toxicity* (FET).
- 3) Bagi instalasi
 - a. Menjadi bahan masukan terhadap rekomendasi optimalisasi dan evaluasi kinerja IPAL Komunal Manden.

1.2 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini yaitu:

- 1) Uji toksisitas untuk meningkatkan kinerja IPAL Komunal Manden menggunakan metode *Fish Embryo Toxicity* (FET) dengan parameter yang akan diuji yaitu efek ketoksikan akut.
- 2) Penelitian menggunakan sampel air limbah influen dan efluen dari IPAL Komunal Manden yang dipaparkan pada embrio ikan zebra.
- 3) Pengamatan dilakukan setiap 24 jam, 48 jam, 72 jam, dan 96 jam.
- 4) Parameter fisik dan kimia yang diuji yaitu parameter suhu, pH, BOD, COD, TDS, TSS, Amonia, Minyak dan Lemak, Detergen, serta Coliform.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air Limbah Domestik

Air limbah merupakan hasil dari suatu aktivitas atau usaha yang dapat diklasifikasikan menjadi air limbah domestik dan air limbah non domestik. Air limbah domestik berasal dari aktivitas di kawasan permukaan, rumah tangga, perkantoran, pusat perdagangan, apartemen, maupun asrama. bentuk limbah ini dibagi terbagi menjadi, yaitu limbah kakus dari tangki septik, dan limbah non-kakus dari kegiatan rumah tangga sehari-hari. Sayangnya, senyawa ini seringkali dibuang langsung ke badan air tanpa diolah terlebih dahulu, tanpa tahu kandungan dari air limbah tersebut apakah sudah sesuai dengan baku mutu yang berlaku. Baku mutu air limbah merupakan batas maksimal kadar atau konsentrasi unsur kontaminan yang diizinkan terdapat dalam air limbah sebelum dibuang ke lingkungan seperti tanah atau air dari kegiatan atau usaha. Jika air limbah belum memenuhi baku mutu tersebut, maka dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, misalnya menyebabkan air menjadi keruh berwarna coklat, berbau tidak sedap, menimbulkan kematian organisme akuatik, dan menyebarkan berbagai sumber penyakit (Sulistia & Septisya, 2020).

Baku mutu untuk air limbah domestik diatur dalam Peraturan Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 7 Tahun 2016 tentang Baku Mutu Air Limbah. Berikut ini adalah tabel baku mutu air limbah Domestik di DIY:

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah Domestik

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu (Kadar Maksimum)(mg/L)	
			Perda DIY No. 7 Tahun 2016	Permen LHK No. 68 Tahun 2016
1	pH		6 - 9	6 - 9
2	Total Suspended Solids (TSS)	mg/l	75	20
3	Residu Terlarut (TDS)	mg/l	2000	-
4	BOD	mg/l	75	30

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu (Kadar Maksimum)(mg/L)	
			Perda DIY No. 7 Tahun 2016	Permen LHK No. 68 Tahun 2016
5	COD	mg/l	200	100
6	Ammonia	mg/l	-	10
7	Minyak Lemak	mg/l	10	5
8	Detergen	mg/l	5	-
9	Total coliform	MPN/100	10000	3000

Sumber: Permen LHK No. 68 Tahun 2016 dan Perda DIY No. 7 Tahun 2016

2.2 Karakteristik Air Limbah

Karakteristik air limbah dikelompokkan ke dalam tiga sifat, yaitu karakteristik fisik, karakteristik kimia, dan karakteristik biologi.

1) Karakteristik fisik

a. Suhu

Suhu air limbah umumnya lebih tinggi dibanding dengan suhu air bersih. Suhu adalah salah satu parameter yang dapat mempengaruhi kelarutan oksigen. Hal ini dikarenakan kandungan oksigen terlarut di air yang lebih hangat cenderung lebih kecil dibandingkan pada air yang dingin. Suhu juga mempengaruhi aktivitas bakteri. Suhu optimum untuk aktivitas bakteri umumnya sebesar 25-35°C.

b. *Total Suspended Solid (TSS)*

Total Suspended Solid (TSS) atau padatan tersuspensi total merupakan partikel-partikel yang tidak larut di dalam air. Partikel ini umumnya lebih kecil dan lebih ringan dibandingkan dengan sedimen, yang dapat berupa bahan organik tertentu, mikroorganisme, partikel tanah liat serta komponen lainnya (Fachrurrozi et al., 2010). Jika padatan tersuspensi ini dibuang langsung ke badan air, maka dapat meningkatkan tingkat kekeruhan,

dan bila mengendap, berpotensi merusak habitat atau tempat berkembang biak organisme air (Qasim, 1999). Selain itu, keberadaan padatan tersuspensi juga dapat menghambat masuknya cahaya ke dalam air yang berakibat pada penurunan kadar oksigen dan terganggunya proses fotosintesis.

c. *Total Dissolved Solid (TDS)*

Total Dissolved Solid (TDS) merupakan jumlah seluruh zat padat yang terlarut dalam sampel air dan dapat melewati media penyaring. Padatan terlarut ini berukuran lebih kecil dibandingkan padatan tersuspensi dan terdiri dari berbagai senyawa anorganik maupun organik yang larut dalam air, termasuk mineral serta garam-garamnya. Umumnya, TDS disebabkan oleh keberadaan bahan organik dalam bentuk ion-ion yang lazim ditemukan di perairan (Nutayla, 2006).

2) Karakteristik kimia

a. *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*

BOD atau *Biochemical Oxygen Demand (BOD)* merupakan parameter yang menggambarkan jumlah oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik di dalam air dalam kondisi yang mengandung oksigen (aerobik) (Metcalf & Eddy, 2003). BOD lebih fokus pada senyawa organik yang bisa diuraikan secara biologis. Nilai BOD digunakan untuk menilai tingkat pencemaran air akibat limbah organik seperti limbah rumah tangga dan limbah dari makhluk hidup. Jika nilai BOD tinggi, itu menunjukkan adanya pencemaran organik berlebih yang bisa mengurangi oksigen di air, mengganggu keseimbangan ekosistem, dan bahkan berisiko bagi kesehatan Masyarakat (John, 2025).

b. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah ukuran jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi secara kimia senyawa organik dalam air, baik yang bisa terurai maupun yang sulit terurai. Nilai COD memberikan gambaran tentang tingkat pencemaran, baik

itu dari limbah industri, limpasan pertanian, maupun limbah domestik. Jika nilai COD tinggi, ini berarti air mengandung banyak pencemar. Hal ini dapat menyebabkan berkurangnya oksigen di perairan, yang merugikan kehidupan makhluk air serta mengurangi kaulitas air untuk kebutuhan minum dan industri (John, 2025).

c. pH

Nilai pH merupakan suatu indikator apakah cairan tertentu bersifat asam ($\text{pH} < 5$), basa ($\text{pH} > 9$) atau netral ($\text{pH} = 7$). Air limbah dengan Ph asam atau basa cenderung sulit untuk diolah sehingga diperlukan suatu pre- treatment netralisasi untuk menaikkan atau menurunkan pH. Kondisi tersebut berkaitan dengan proses pengolahan secara biolo gis karena nilai pH dapat mempengaruhi kinerja mikroorganisme.

d. Minyak dan lemak

Minyak dan lemak merupakan senyawa organik yang dapat terurai secara hayati (biodegradable) dan umumnya ditemukan dalam air limbah. Namun, karena memiliki massa jenis yang lebih ringan dibanding air, minyak dan lemak cenderung mengapung di permukaan dan tidak bisa bercampur dengan air. Selain itu, sifatnya yang lengket dan mudah mengeras saat suhu rendah dapat menimbulkan kendala dalam proses pengolahan limbah, seperti menyumbat saluran pipa atau menyumbat filter. Jika langsung dibuang ke badan air, minyak dan lemak dapat menyebabkan bau tidak sedap dan mencemari lingkungan perairan. Oleh karena itu, langkah terbaik adalah memisahkan minyak dan lemak terlebih dahulu sebelum air limbah masuk ke tahap pengolahan biologis.

e. Ammonia

Amonia merupakan campuran dari senyawa-senyawa kompleks seperti asam amino, gula amino, dan protein yang tersusun dari rantai asam amino. Amonia (NH_3) adalah senyawa basa berbentuk gas tidak berwarna yang mudah larut dalam air. Meskipun berada pada konsentrasi rendah, yaitu di bawah 1 ppm, amonia

sudah bisa tercium karena baunya yang sangat menyengat. Kandungan NH_3 yang tinggi di dalam air merupakan indikator adanya pencemaran. Amonia bebas (NH_3) yang tidak mengalami ionisasi bersifat beracun bagi organisme perairan. Tingkat toksisitasnya akan semakin tinggi jika kadar oksigen terlarut menurun, serta jika terjadi perubahan pH dan peningkatan suhu air (Effendi, 2003).

f. Deterjen

Deterjen adalah campuran kompleks yang mengandung berbagai bahan seperti surfaktan, pembentuk (builders), polimer, serta zat tambahan lainnya seperti enzim, pelembut, dan pewangi. Surfaktan merupakan komponen utama dalam deterjen (Abdollahzadeh Sharghi & Davarpanah, 2022). Penggunaan bahan kimia dari minyak bumi sebagai pengganti campuran soda kaustik dan minyak nabati atau hewani dalam pembuatan deterjen menyebabkan deterjen menjadi bersifat recalcitrant, yaitu sangat sulit diuraikan oleh mikroorganisme. Akibatnya, dampak negatif deterjen terhadap lingkungan semakin besar karena tidak mudah terdegradasi secara alami. Keberadaan deterjen di perairan, bahkan dalam konsentrasi rendah, sangat berbahaya bagi organisme akuatik (Sudifanto, 1993).

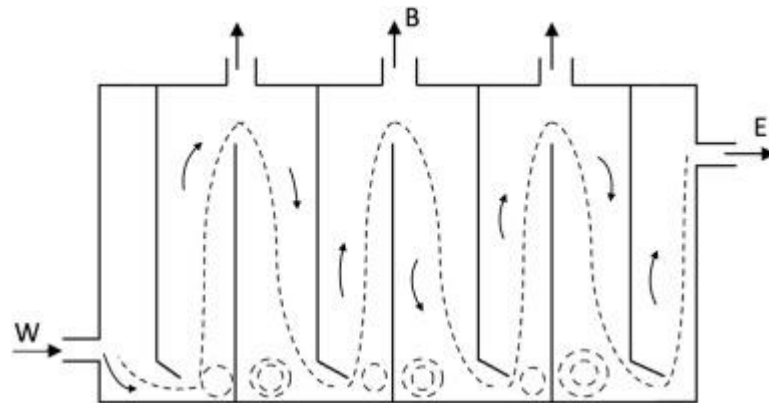
3) Karakteristik biologi

a. *Total coliform*

Bakteri coliform merupakan jenis mikroorganisme yang sering digunakan sebagai indikator untuk menilai apakah suatu sumber air telah tercemar oleh patogen atau tidak. Kelompok bakteri ini dianggap sebagai penanda utama pencemaran air karena mampu bertahan hidup di lingkungan yang sangat tercemar, serta dapat diidentifikasi dengan mudah. Oleh karena itu, semakin tinggi jumlah Total Coliform yang terdeteksi, maka semakin rendah pula kualitas air tersebut.

2.3 Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

Anaerobic Baffled Reactor (ABR) adalah sistem pengolahan air limbah yang terdiri dari beberapa ruang (kompartemen) yang dipisahkan oleh sekat-sekat. Di dalamnya, ada bakteri yang bekerja tanpa oksigen untuk menguraikan bahan organik dalam air limbah. Karena ABR terdiri dari beberapa bagian, masing-masing ruang bisa punya kondisi berbeda, yang membantu proses penguraian bahan organik berjalan lebih maksimal. Misalnya, proses pembentukan asam dan pembentukan gas metana (biogas) terjadi di ruang yang berbeda, sehingga bakteri bisa bekerja lebih baik sesuai bagiannya. Ini membuat proses lebih stabil dan efisien.



Gambar 2. 1 Teknologi ABR

Sumber: (Mohammadzadeh et al., 2025)

Saat air limbah mengalir dari satu ruang ke ruang berikutnya, bakteri anaerob memecah bahan organik dan menghasilkan biogas. Sekat-sekat ini juga mencegah aliran langsung (jalur pendek), sehingga air limbah bisa mengalir lebih merata dan lebih lama di dalam reaktor. Waktu tinggal yang lebih lama membantu reaksi biologis berjalan lebih sempurna, menghasilkan lebih banyak biogas dan mengurangi bahan pencemar lebih baik. Pada ruang awal, bahan organik masih banyak, sehingga bakteri memecah senyawa besar seperti protein, lemak, dan karbohidrat menjadi bentuk lebih sederhana seperti gula, asam amino, dan asam lemak. Di bagian tengah hingga akhir, bakteri lainnya mengubah sisa asam lemak ini menjadi gas metana. Desain ini juga membantu mencegah penumpukan zat beracun seperti amonia atau asam lemak yang bisa menghambat kerja bakteri. Selain itu, sistem ini mendorong pencampuran dan pengendapan lumpur secara

terus-menerus, sehingga lumpur tidak menumpuk dan kontak antara bakteri dan bahan limbah tetap baik. Hasilnya, produksi biogas jadi lebih optimal.

Namun, kelemahan ABR antara lain butuh waktu tinggal (HRT) yang lama, kurang efektif menghilangkan zat hara seperti nitrogen dan fosfor, waktu awal pemakaian lambat karena bakteri butuh waktu untuk berkembang, serta kurang maksimal dalam membunuh bakteri patogen, sehingga kadang perlu pengolahan tambahan agar air aman dibuang atau digunakan kembali.

2.2 Uji Toksisitas

Uji toksisitas merupakan suatu metode pengujian yang bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai dampak racun dari suatu zat pencemar terhadap sistem biologis, dengan mengamati hubungan antara dosis zat tersebut dan respon yang ditimbulkan. Uji toksisitas terdiri dari dua jenis: uji toksisitas umum dan uji toksisitas khusus. Uji toksisitas umum mencakup uji yang bersifat akut, subakut, dan kronis, sedangkan uji yang bersifat teratogenik, mutagenik, dan karsinogenik. Menurut Soemirat, (2003) ada tiga jenis tes toksisitas yang berbeda:

1. Uji Toksisitas Akut (Tingkat I)

Uji toksisitas akut, atau yang juga biasa dikenal sebagai *short term test* atau pengujian jangka pendek, dilakukan dengan memberikan zat atau senyawa kimia sekali atau beberapa kali pada rentang 24 hingga 96 jam. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk menentukan nilai LD₅₀ (lethal dose 50), yaitu dosis suatu zat yang dosis zat yang diperkirakan menyebabkan kematian 50% hewan uji. Selain itu, uji ini juga dapat mengungkapkan efek toksik tertentu, organ tubuh yang mungkin mengalami kerusakan, serta dosis yang sesuai untuk digunakan pada pengujian jangka panjang berikutnya (Lu, 1995).

2. Uji Toksisitas Subakut

Uji ini memberikan bahan uji secara berulang, baik setiap hari maupun lima kali dalam seminggu, selama kurun waktu antara 7 hingga 90 hari. Tujuan dari uji ini adalah untuk mengevaluasi dampak berbahaya yang mungkin timbul akibat penggunaan suatu zat dalam jangka waktu tertentu, serta untuk menentukan apakah efek tersebut berkaitan dengan jumlah dosis yang diberikan (Lu, 1995).

3. Uji Toksisitas Kronik

Pengujian toksisitas kronik bertujuan untuk mengetahui karakteristik efek racun dari suatu bahan kimia serta menetapkan ambang dosis tertinggi yang tidak menimbulkan dampak negatif, dikenal dengan istilah *no observed effect level (NOEL)*. Dalam pengujian ini, bahan kimia diberikan setiap hari selama periode yang berkisar antara 26 minggu hingga 2 tahun, meskipun sebagian besar studi dilakukan kurang dari 21 minggu. Seperti halnya pada pengujian jangka pendek, pengamatan dilakukan terhadap berbagai parameter seperti berat badan, asupan makanan, gejala klinis umum, hasil pemeriksaan laboratorium, serta analisis organ setelah hewan uji mati (Lu, 1995).

2.2.1 Ikan Zebra (*Danio rerio*)

a. Klasifikasi dan Morfologi

Ikan zebra (*Danio rerio*) adalah ikan bentik kecil yang berasal dari Sungai Gangga, Burma, Semenanjung Malaka dan Sumatera dengan rata-rata panjang tubuh dewasa 3-5 cm (Braunbeck & Lammer, 2006). Ikan zebra (*Danio rerio*) adalah spesies yang secara teknis dan metodologis mudah dan murah untuk digunakan serta memberikan wawasan konseptual ke dalam berbagai aspek biologi vertebrata, genetika, toksikologi, dan penyakit. Penggunaan ikan zebra (*Danio rerio*) sebagai model perkembangan telah terbukti menjadi alat yang berharga untuk mempelajari teratogenesis yang diinduksi secara kimia. Kemampuan untuk menghasilkan ratusan telur perhari. Perkembangan embrio dan transparansinya yang cepat mewakili sistem yang ideal untuk mendeteksi perubahan morfologi dalam struktur dan sistem organ, dan dengan demikian memberikan model alternatif yang efektif untuk menguji potensi teratogenik dan embriotoksik bahan kimia (Barkhordari et al., 2024).

Kingdom : *Animalia*

Filum : *Chordata*

Kelas : *Actinopterygii*

Ordo : *Cypriniformes*

Family : *Cyprinidae*
Genus : *Brachydanio*
Spesies : *Danio rerio*



Gambar 2. 2 Ikan Zebra (*Danio rerio*)
Sumber : (Teame et al., 2019)

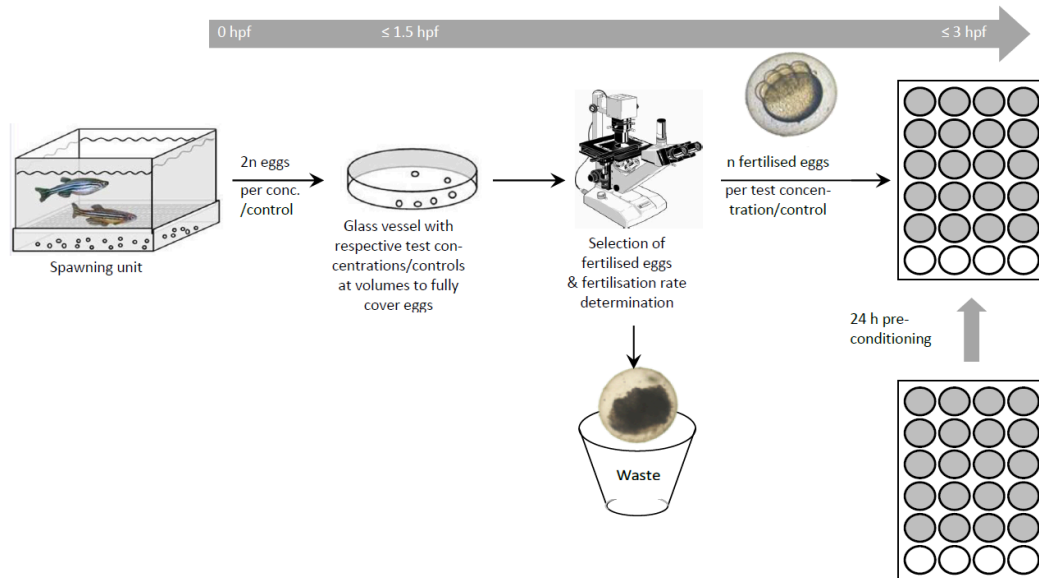
b. Kelebihan Penggunaan Ikan Zebra

Ikan zebra memiliki sejumlah keunggulan yang menjadikannya cocok digunakan sebagai organisme model dalam studi toksikologi. Beberapa karakteristik utamanya yaitu ukurannya yang kecil, mudah diperoleh, serta biaya perawatannya yang relatif rendah. Embrio ikan zebra memiliki lapisan korion yang transparan, sehingga mempermudah proses observasi. Ikan ini juga mudah dipelihara, dan betina dewasa mampu menghasilkan sekitar 200–250 embrio dalam satu kali pemijahan. Selain itu, ikan zebra mendukung penerapan prinsip 3R (Reduce, Reuse, Refinement), memiliki siklus hidup dan perkembangan yang cepat, serta sekitar 70% gennya memiliki kemiripan dengan manusia. Transparansi embrionya juga sangat membantu dalam pengamatan indikator kematian saat dilakukan uji toksisitas akut.

2.2.2 Prinsip Fish Embryo Toxicity (FET)

Uji toksisitas akut dengan metode OECD 236 digunakan untuk menentukan ambang batas keamanan dari suatu bahan kimia atau sedimen yang dipaparkan terhadap embrio ikan zebra (*Danio rerio*). Embrio yang digunakan dalam pengujian ini adalah embrio yang berumur kurang dari 6 jam setelah pembuahan (fertilisasi), dalam kondisi sehat, dan berada pada tahap perkembangan yang seragam agar hasil pengujian tidak bias. Embrio dikatakan telah terfertilisasi jika sudah mengalami

pembelahan hingga 32 sel atau berusia lebih dari 1,75 jam. Jika embrio berumur lebih dari 6 jam saat diberikan senyawa uji, maka senyawa tersebut akan sulit menembus membran embrio (Altortox et al., 2013). Setelah melewati proses seleksi, embrio yang memenuhi kriteria kemudian dipaparkan pada senyawa uji selama 96 jam, dengan pengamatan dilakukan setiap 24 jam. Berikut ini adalah tahapan dalam pelaksanaan uji toksisitas menggunakan embrio ikan zebra.



Gambar 2. 3 Skema Prosedur Uji Toksisitas Akut pada Embrio Ikan Zebra

Pada akhir masa pemaparan, tingkat toksisitas akut ditentukan dengan mengamati indikator kematian berdasarkan empat parameter utama, yaitu: terjadinya koagulasi embrio, tidak terbentuknya somit, kegagalan pelepasan *tail-bud* dari kuning telur (*yolk*), serta tidak terdeteksinya detak jantung embrio. Selain itu, dilakukan juga perhitungan nilai LC50 untuk mengetahui konsentrasi senyawa yang menyebabkan kematian 50% embrio (OECD, 2013) Adapun penjelasan setiap parameter berdasarkan panduan OECD adalah sebagai berikut: Koagulasi Embrio

1. Koagulasi embrio

Embrio yang mengalami koagulasi tampak berwarna putih susu, terlihat lebih gelap saat diamati dengan mikroskop, serta menunjukkan tanda-tanda penggumpalan. Jumlah embrio yang mengalami koagulasi diamati setelah 24, 48, dan 96 jam pemaparan.

2. Pembentukan somit

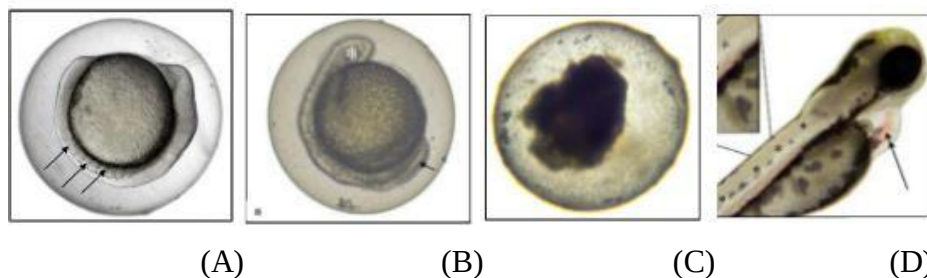
Pembentukan somit merupakan tanda perkembangan embrio yang normal dan dapat dilihat setelah 24 jam pasca-fertilisasi pada suhu $26 \pm 1^\circ\text{C}$. Embrio yang berkembang dengan baik menunjukkan gerakan spontan berupa kontraksi dari sisi ke sisi, yang menjadi indikator terbentuknya somit. Ketiadaan somit diamati pada jam 24 hingga 96. Jika dalam 24 jam belum terbentuk somit, hal ini bisa disebabkan oleh keterlambatan perkembangan. Namun, bila hingga 48 jam belum terbentuk somit, maka embrio dianggap telah mati

3. Lepasnya *tail-bud* dari *yolk*

Setelah bagian belakang tubuh embrio memanjang, pelepasan ekor dari kantung kuning telur dapat mulai diamati sekitar 24 jam setelah fertilisasi.

4. Detak jantung embrio

Detak jantung pada embrio ikan zebra biasanya mulai terlihat setelah 48 jam fertilisasi. Jika pada jam ke-48 belum terlihat adanya detak jantung, maka embrio dianggap tidak hidup. Pengamatan terhadap detak jantung harus dilakukan selama minimal satu menit menggunakan mikroskop dengan perbesaran setidaknya 80 kali (OECD, 2013)



Gambar 2. 4 (A) Pembentukan somit; (B) Lepasnya bagian *tail-bud* dari *yolk*; (C) Koagulasi embrio; (D) Adanya jantung

Sumber: (OECD, 2013)

2.2.3 Validitas Pengujian

Menurut (OECD, 2013), terdapat beberapa kriteria yang harus dipenuhi agar uji toksisitas dianggap valid, yaitu:

1. Tingkat keberhasilan pembuahan (fertilisasi) dari seluruh telur yang dikumpulkan harus mencapai $\geq 70\%$ dalam setiap kelompok uji.
2. Suhu air selama pengujian harus dijaga stabil pada $26 \pm 1^\circ\text{C}$ di ruang uji.

3. Kelangsungan hidup keseluruhan embrio dalam *control negative* (*dilution water*), dan jika relevan dalam kontrol pelarut harus $\geq 90\%$ sampai akhir paparan hingga 96 jam.
4. Kelompok kontrol positif (misalnya dengan 4,0 mg/L senyawa 3,4-dikloroanilin untuk ikan zebra) harus menunjukkan tingkat kematian minimal 30% pada akhir periode 96 jam.
5. Laju penetasan *control negative* (dalam kontrol pelarut jika sesuai) harus $\geq 80\%$ pada akhir paparan 96 jam.
6. Pada akhir paparan 96 jam, konsentrasi oksigen terlarut dalam *control negative* dan konsentrasi uji tertinggi harus $\geq 80\%$ dari saturasi.

2.2.4 Senyawa 3,4-Dichloroaniline (DCA)

Senyawa 3,4-dichloroaniline (DCA) adalah senyawa derivat dari 1,2-dichlorobenzena yang sangat toksik pada kehidupan air dan organisme yang dipaparkan. DCA berfungsi sebagai kontrol positif dalam uji toksisitas akut yang dapat mematikan dan menghambat perkembangan embrio ikan zebra (Hill et al., 2005).

2.2.5 Lethal Concentration (LC_{50})

Suatu variasi dari LD_{50} adalah LC_{50} . LC_{50} adalah konsentrasi bahan yang menyebabkan kematian 50% organisme yang terpapar. Parameter ini sering digunakan jika suatu organisme dipaparkan terhadap konsentrasi bahan tertentu dalam air atau udara yang dosisnya tidak diketahui. Dalam hal ini waktu paparan dan konsentrasi harus dinyatakan dengan jelas. Nilai LC_{50} dapat diperoleh dengan memplotkan terhadap waktu tertentu, sehingga dapat diperoleh kurva toksisitas bahan kimia tersebut (Mukono, 2005).

2.3 Penelitian Terdahulu

Berikut ini adalah penelitian terdahulu yang berkaitan dengan uji toksisitas dengan sampel lingkungan:

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

Judul	Penulis	Hasil
Uji Toksisitas IPAL Komunal di Kecamatan Bantul Menggunakan Metode <i>Whole Effluent Toxicity</i> (WET) pada <i>Daphnia Magna</i>	Kurnia Nur Khotimah (2018)	Hasil penelitian menunjukkan kualitas air limbah pada IPAL Komunal di Kecamatan Bantul Sebagian besar masih melebihi baku mutu. Hasil penilaian LC ₅₀ untuk influent dari yang tertinggi hingga terendah berturut-turut yaitu pada IPAL Komunal Babadan I (1,02%), IPAL Komunal Manding Serut (1,42%), IPAL Komunal Babadan II (1,43%), IPAL Komunal Babadan III (2,53%) dan IPAL Komunal Sukunan (0%) sedangkan nilai LC ₅₀ untuk effluent dari yang tertinggi hingga terendah berturut-turut yaitu pada IPAL Komunal Babadan I (2,04%), IPAL Komunal Manding Serut (4,89%), IPAL Komunal Babadan II (1,02%), IPAL Komunal Babadan III (1,78%) dan IPAL Komunal Sukunan (0%). Berdasarkan penilaian TU influent dari yang tertinggi hingga terendah berturut-turut menunjukkan pada IPAL Komunal Babadan I (97,98), IPAL Komunal Manding Serut (70,44), IPAL Komunal Babadan II (70,01), IPAL Komunal Babadan III (39,50) dan IPAL Komunal Sukunan (0%) sedangkan nilai TU untuk effluent yaitu pada IPAL Komunal Babadan I (49,01), IPAL Komunal Manding Serut (20,46), IPAL Komunal Babadan II (97,98), IPAL Komunal Babadan III (56,30) dan IPAL Komunal Sukunan (0%).

Judul	Penulis	Hasil
<p>Uji Toksisitas IPAL Komunal Kecamatan Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta terhadap <i>Macrobrachium rosenbergii</i> Menggunakan Metode <i>Whole Effluent Toxicity</i> (WET)</p>	<p>Bekti Rahmawati (2018)</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai LC_{50} influent tertinggi ada pada IPAL Komunal Babadan II dan IPAL Komunal Manden yaitu sebesar 15,16 dan 16,072 dengan sifat toksisitas akut signifikan. Nilai LC_{50} effluent tertinggi terdapat pada IPAL Manden sebesar 5,27 dengan sifat toksisitas akut tinggi. Dapat disimpulkan IPAL Komunal Kecamatan Bantul bersifat akut signifikan sehingga pengolahan pada IPAL Komunal kurang atau tidak efektif.</p>
<p>Uji Toksisitas IPAL Komunal di Kecamatan Banguntapan, Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta terhadap <i>Macrobrachium rosenbergii</i> Menggunakan Metode <i>Whole Effluent Toxicity</i> (WET)</p>	<p>Haliza Winda Munvika (2018)</p>	<p>Hasil pengujian toksisitas dan nilai LC_{50} pada IPAL Dokaran, IPAL Grogogan, IPAL Pamotan Lor, IPAL Ngelebeng dan IPAL Sukuran menunjukan semakin lama pemaparan semakin toksik dengan nilai LC_{50} yang terendah pada influent IPAL Ngelebng sebesar 12,36% sedangkan untuk effluent pada IPAL Pamotan Lor sebesar 13,29%.</p>

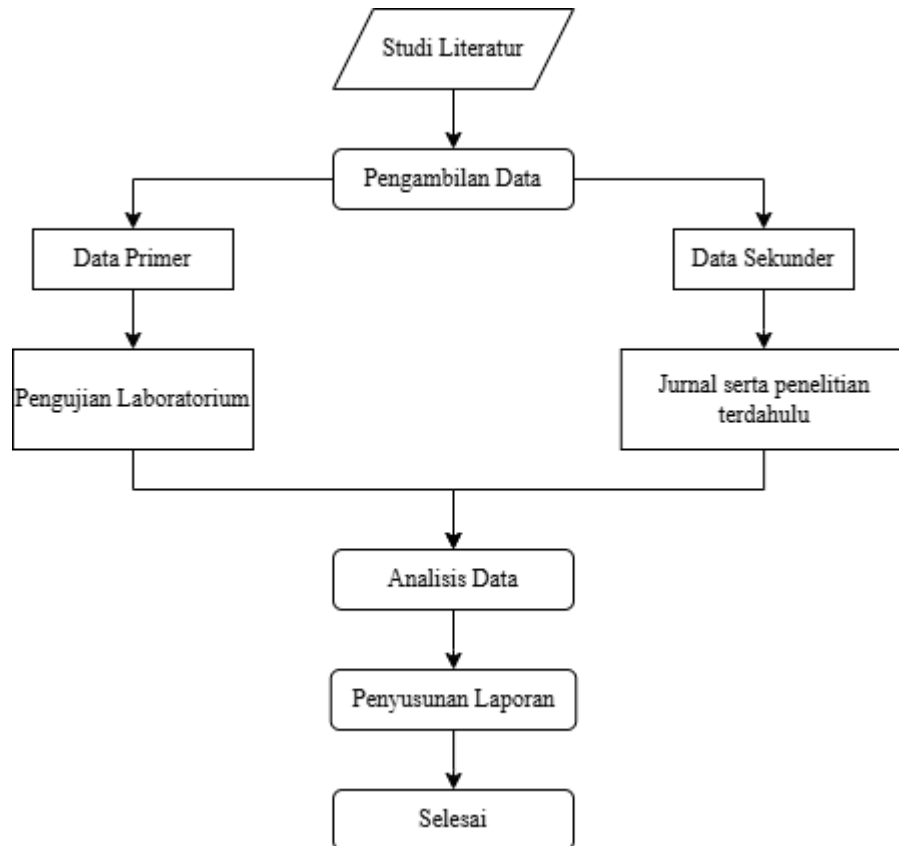
Judul	Penulis	Hasil
Uji Toksisitas Air Limbah IPAL Komunal Mendo Terhadap Ikan Zebra (<i>Danio rerio</i>) Menggunakan Metode <i>Whole Effluent Toxicity</i> (WET)	Hasna Maharani Khoirunisa (2024)	Hasil uji parameter fisik dan kimia menunjukkan bahwa kadar <i>effluent</i> BOD dan COD IPAL Komunal Mendo belum memenuhi standar baku mutu. Hasil uji WET menunjukkan bahwa <i>effluent</i> pada IPAL Komunal Mendo tidak toksik terhadap ikan zebra karena hanya memiliki kematian pada satu konsentrasi rendah yakni pada konsentrasi 12,5%. Sedangkan nilai LC_{50} <i>influent</i> IPAL Mendo sebesar 3,79% artinya konsentrasi air limbah yang dapat menyebabkan kematian pada hewan uji 50% ialah sekitar 4% (jika dibulatkan). Pada <i>influent</i> IPAL Komunal Mendo memiliki nilai <i>Tua</i> sebesar 25 maka berdasarkan perbandingan kategori pencemaran termasuk ke dalam kategori kelas 4 yaitu sangat toksisitas akut. Sedangkan <i>effluent</i> IPAL Komunal Mendo tidak memiliki nilai <i>Tua</i> sebab tidak terjadi kematian selama pengujian berlangsung.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode penelitian ditunjukkan melalui diagram alir penelitian sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Lokasi Penelitian

Sampel diambil dari IPAL Komunal Manden (Babadan III) yang berlokasi di Desa Bantul, Kecamatan Bantul, Kabupaten Bantul, D.I. Yogyakarta. Sedangkan Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Praktlinik Program Studi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan dan Labotarium Bioteknologi Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian ini diantaranya:

1. Uji *Fish Embryo Toxicity* (FET)

- Aquarium
- Mikroskop strereo
- Well plate
- Mikropipet
- Inkubator atau ruangan ber-AC
- Termometer
- pH meter
- Oxygen meter
- Spawn trap

2. Uji parameter fisika kimia

- Glass vessels
- Spektrofotometri
- Kuvet
- Digestion tube
- Thermor reactor
- Pipet ukur
- Labu ukur
- Pipet volume
- Timbangan analitik
- Botol BOD
- Buret
- Gelas ukur
- Gelas piala
- Labu ukur erlenmeyer
- Desikator
- Oven
- Pengaduk magnetik
- Cawan alumunium

- Cawan porselen
- Penjepit
- Kaca arloji
- Botol gelas mulut lebar
- Corong pisah
- Seperangkat ala destilasi dengan labu destilasi

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi:

1. Uji *Fish Embryo Toxicity* (FET)
 - Sampel air limbah influen dan efluen
 - Aquabides
 - Ikan zebra
 - Senyawa 3,4- *dichloroaniline*
2. Uji parameter fisika kimia
 - Larutan pengencer
 - Larutan pencerna
 - Larutan pereaksi asam sulfat
 - Asam sulfat
 - Larutan standar kalium hidrogen phtalat
 - Reagen (larutan Mn^{2+} , larutan alkali – iodida-azida, larutan kanji (amilum) 2%, larutan natrium hidroksida, larutan natrium tiosulfat, larutan natrium dikromat)
 - Kertas saring
 - H_2SO_4

3.4 Pengumpulan Data

3.4.1 Sampling Air Limbah

Berdasarkan SNI 698910 : 2008, alat dan bahan yang diperlukan dalam sampling air limbah meliputi pH meter, alat pengukur DO, termometer, dan botol sampel. Pada IPAL Komunal Manden, sampel diambil dari inlet dan outlet pengolahan. Metode sampling pada penelitian ini dilakukan secara *grab sampling* artinya sampel diambil secara langsung pada waktu dan tempat tertentu dalam satu kali

pengambilan. Titik pengambilan sampel inlet pada titik yang memiliki aliran dengan turbulensi tinggi. Sedangkan titik pengambilan sampel outlet pada titik sebelum air limbah mengalir ke badan air.

3.4.2 Persiapan Pra Uji Toksisitas

3.4.2.1 Pemeliharaan Ikan Zebra

Ikan zebra yang memenuhi syarat inklusi disimpan di laboratorium selama 9 hari sebelum dilakukan pengujian. Adapun kriteria inklusi yang digunakan mencakup ikan berusia antara 4 hingga 6 bulan, berada dalam kondisi sehat, tidak menunjukkan tanda-tanda infeksi secara visual (makroskopis), dan tidak sedang menjalani pengobatan. Selama masa pemeliharaan, suhu ruangan dijaga stabil antara 25–28°C. Sistem filtrasi air harus berjalan dengan baik, dan pengaturan pencahayaan mengikuti siklus fotoperiodik, yaitu 14 jam dalam kondisi gelap dan 10 jam terang. Ikan diberi makan 1–2 kali setiap hari, serta diberikan pakan tambahan berupa artemia dua kali dalam seminggu untuk memenuhi kebutuhan nutrisinya.

3.4.2.1 Produksi Embrio

Ikan zebra dewasa dipelihara dalam akuarium yang berisi air buffer dengan pH berkisar antara 6,8 hingga 8,5 dan suhu air dijaga pada 25–28°C. Pencahayaan diatur mengikuti siklus 14 jam terang dan 10 jam gelap, dengan pemberian pakan setiap hari. Pada tahap awal, ikan jantan dan betina dipisahkan terlebih dahulu selama 4 jam sebelum digabungkan. Untuk proses pemijahan, ikan zebra jantan dan betina dewasa ditempatkan bersama dalam satu akuarium dengan rasio 2:1 dan dibiarkan semalaman. Keesokan harinya, proses ovulasi dan pembuahan dipicu pada awal periode terang, di mana ikan jantan merespons cahaya untuk membuahi sel telur dari ikan betina. Setelah proses pembuahan, telur yang dihasilkan segera dipindahkan ke cawan petri (OECD, 2013).

3.4.3 Pelaksanaan Uji Toksisitas

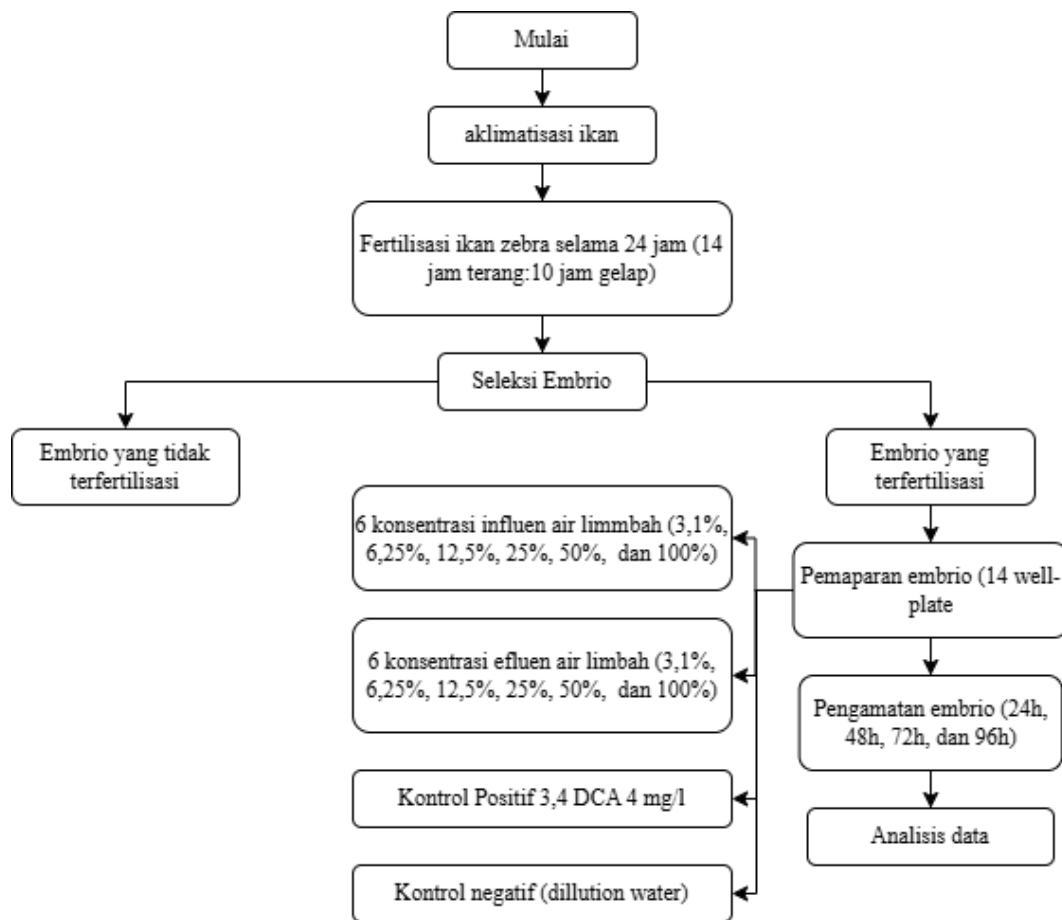
3.4.3.1 Prosedur Uji

Dibutuhkan sebanyak 14 *well -plate* yang terdiri dari 6 *well-plate* berisi 6 konsentrasi influen air limbah dengan konsentrasi 3,1%, 6,25%, 12,5%, 25%, 50%

dan 100%, 6 *well-plate* untuk 6 konsentrasi efluen air limbah sebesar 3,1%, 6,25%, 12,5%, 25%, 50% dan 100%, 1 *well-plate* untuk kontrol positif (3,4-DCA 4 mg/l), 1 *well-plate* untuk kontrol negatif (*dilution water*). 1 *well-plate* berisi 24 sumuran. Setiap sumuran berisi 1 embrio. 4 sumuran disisakan untuk internal kontrol. Internal kontrol berfungsi untuk memastikan bahwa *plate* yang akan dipakai tidak mengandung kontaminasi. Sebelum *well-plate* digunakan, *well-plate* yang berisi larutan uji harus dikondisikan ke dalam inkubator terlebih dahulu selama 24 jam untuk keesokan harinya dapat digunakan.

Kontrol negatif berisi kelompok embrio yang tidak terpapar sampel uji dan senyawa apapun selain air pengecer. *Dilution water* digunakan sebagai kontrol negatif dan internal kontrol. Jika terdapat lebih dari satu embrio mati pada kontrol internal pada setiap *well-plate*, maka *plate* tersebut ditolak atau tidak dapat digunakan. Penolakan ini dapat mengurangi jumlah konsentrasi yang akan digunakan untuk menghitung nilai LC₅₀ (konsentrasi sampel uji yang menyebabkan 50% kematian embrio). Apabila seluruh *well-plate* ditolak, maka proses pengujian harus diulang.

Sebagai kontrol positif, setiap batch embrio harus diberikan konsentrasi 3,4-*dichloroaniline* sebesar 4 mg/L. Senyawa 3,4-*dichloroaniline* (DCA) adalah senyawa *derivate* dari 1,2-*dichlorobenze* yang sangat berbahaya bagi organisme yang dipaparkan dan air. DCA berhasil dalam uji toksisitas akut, yang dapat membunuh dan menghentikan perkembangan embrio ikan zebra (Hill et al., 2005) Diagram alir langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Prosedur Pengujian

3.4.3.2 Pengamatan

Pengamatan dilakukan setiap 24 jam sekali yang berlangsung selama 96 jam. Terdapat parameter-parameter pengamatan yang harus dicatat meliputi koagulasi embrio, pembentukan somit, lepasnya bagian *tail-bud* dari *yolk*, dan detak jantung (OECD, 2013).

Tabel 3. 1 Parameter Pengamatan

	Waktu pengamatan			
	24 jam	48 jam	72 jam	96 jam
Pengumpulan embrio	+	+	+	+
Somit terbentuk	+	+	+	+
Lepasnya <i>Tail-bud</i> dari <i>Yolk</i>	+	+	+	+
Adanya Detak Jantung		+	+	+

Sumber: (OECD, 2013)

3.4.4 Analisis Kimia Limbah

Setelah pengujian toksisitas air limbah, diperlukan pengujian parameter pada sampel influen dan efluen air limbah IPAL Komunal. Berdasarkan Permen LHK No. 68 Tahun 2016, terdapat beberapa parameter fisik kimia yang harus diperhatikan pada air limbah domestik termasuk BOD, COD, TSS, Ammonia, Minyak dan lemak serta Total Coliform. Sementara itu, Perda DIY No. 7 Tahun 2016 menetapkan bahwa parameter fisik, kimia biologi pada limbah domestik termasuk BOD, COD, TDS, TDD, Minyak dan lemak, Deterjen, dan total coliform.

Tabel 3. 2 Metode dan Acuan Analisis Fisik, Kimia & Biologi Limbah

Parameter	Satuan	Metode	Acuan
BOD	mg/L	Titration secara iodometri (Modifikasi Azida)	SNI 6989.72-2009
COD	mg/L	Spektrofotometri	SNI 6989.2-2009
Total Suspended Solid (TSS)	mg/L	Gravimetri	SNI 6989.3: 2019
Residu Terlarut (TDS)	mg/L	Gravimetri	SNI 6989.27:2019
Minyak dan Lemak	mg/L	Gravimetri	SNI 6989.10-2011
Amoniak	mg/L	Spektrofotometri	SNI 6989.30-2005
Deterjen	mg/L	Spektrofotometer secara biru metilen	SNI 06-6989.51-2009
Total Coliform	MPN/100mL	Multiple-tube fermentation	SM Ed. 23, 9221, 2017

Pengujian parameter suhu dan pH dilakukan secara in situ atau dilakukan langsung di lokasi IPAL Komunal Manden. Sedangkan pengujian untuk parameter BOD, COD, TSS, TDS, minyak dan lemak, amoniak, deterjen, dan total coliform dilakukan di laboratorium kualitas air yang mengacu pada masing-masing SNI setiap parameter. Data yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian dibandingkan dengan nilai standar baku mutu yang telah ditetapkan guna mengetahui apakah suatu sampel sudah melebihi ambang batas yang ditetapkan atau masih dalam batas yang aman dan dapat diterima oleh lingkungan.

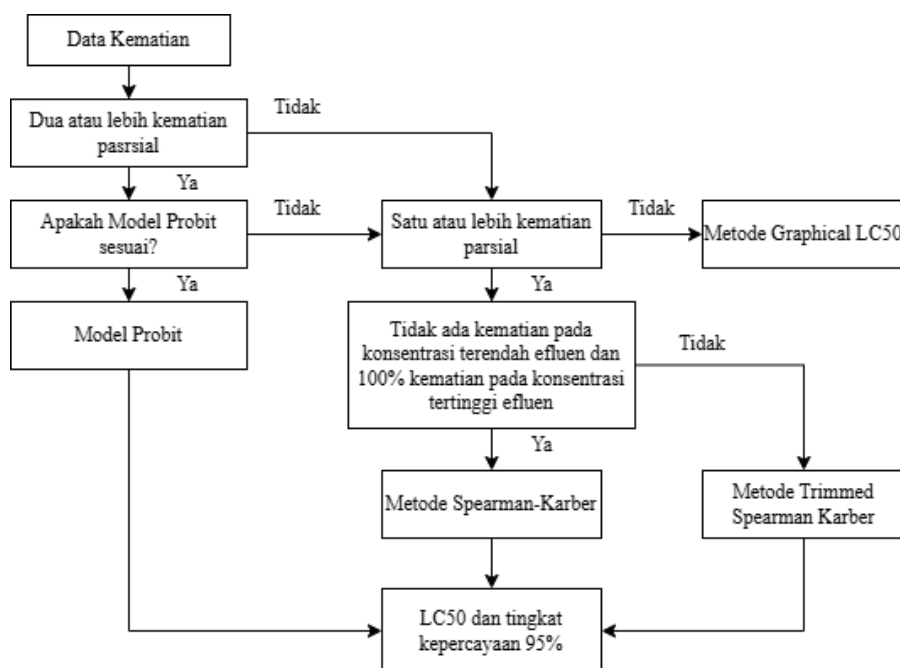
3.4.5 Analisis Data Uji Toksisitas

Setelah dilakukan pengamatan di bawah mikroskop, langkah selanjutnya adalah menghitung berbagai persentase untuk menilai perkembangan dan kondisi embrio ikan zebra. Persentase embrio yang mengalami koagulasi dihitung berdasarkan jumlah total embrio. Persentase embrio yang mengalami pembentukan somit dihitung dari jumlah embrio yang hidup. Demikian pula, persentase pelepasan bagian tail-bud dari kantung kuning telur dan persentase embrio yang menunjukkan detak jantung, masing-masing dihitung dari embrio yang hidup. Sedangkan persentase kematian embrio dihitung dari total embrio yang diamati. Berikut ini digunakan beberapa rumus untuk menghitung persentase kematian: Rumus perhitungan persentase parameter embrio yang mengalami kematian:

$$= \frac{\text{Jumlah embrio yang mengalami kematian}}{\text{Jumlah embrio}} \times 100\%$$

3.4.6 LC₅₀ (*Lethal Concentration*)

Metode yang digunakan untuk menentukan LC₅₀ tergantung hasil yang diperoleh pada saat pengujian. Terdapat 4 metode analisis dalam menentukan nilai LC₅₀. Berikut ini adalah diagram alir pemilihan metode analisis data guna menentukan LC₅₀.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Pemilihan Metode Analisis Data LC₅₀

Jika hanya ditemukan kematian pada konsentrasi pengencer 0% dan 100%, metode yang digunakan adalah metode Grafik. Jika terdapat kematian parsial ≥ 2 konsentrasi uji dan signifikan maka analisis dilakukan dengan metode Probit. Analisis data yang direkomendasikan menggunakan metode analisis Microsoft Office. Sedangkan metode Spearman-Kärber digunakan jika terdapat kematian parsial ≤ 2 pada konsentrasi uji, terdapat kematian pada konsentrasi paling rendah dari efluen atau kematian total pada konsentrasi paling tinggi. Metode Trimmed Spearman-Kärber hanya digunakan ketika syarat untuk metode probit dan Spearman-Kärber tidak terpenuhi. Analisis data dalam menentukan LC_{50} dilakukan menggunakan cara perhitungan manual. Kemudian, nilai LC_{50} dikaitkan dengan hasil pengujian parameter fisik dan kimia IPAL Komunal.

3.4.7 Toxicity Unit Aqute (Tua)

Toxicity unit aqute adalah satuan yang digunakan untuk mengukur tingkat toksisitas suatu zat atau campuran bahan kimia secara sederhana. TUa dihitung dengan persamaan:

$$\frac{100}{LC_{50}}$$

Nilai TUa akan meningkat seiring dengan meningkatnya toksisitas artinya Tua yang lebih besar menunjukkan sampel lebih beracun, karena diperlukan konsentrasi yang lebih rendah untuk mencapai efek yang sama. Nilai LC_{50} yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung nilai TUa. Menurut Vaajasaari (2005), nilai TUa diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Klasifikasi Toksisitas Akut

No	Kelas	Tingkat Toksisitas	Toxic Unit
1	Class I	No Acute Toxicity	<1
2	Class II	Significat Acute Toxicity	1 - 10
3	Class III	High Acute Toxicity	10 - 100
4	Class IV	Very Acute Toxicity	>100

Sumber: (Vaajasaari 2005)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Ethical Clearance

Penelitian ini telah mendapatkan persetujuan dari Komite Etik dan Penilaian Kedokteran dan Kesehatan, Fakultas Kedokteran, Universitas Islam Indoensia, Yogyakarta dengan nomor 14/Ka.Kom.Et/70/KE/II/2025. Dengan adanya persetujuan ini, maka penelitian menggunakan embrio ikan zebra dapat dilakukan.

4.2 Karakteristik Air Limbah

Beberapa hasil pengujian laboratoium paramater fisik kimia dengan pembanding berupa baku mutu yang berlaku disajikan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 1 Hasil Uji Kualitas Influen dan Efluen IPAL Komunal Manden

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji Influen	Hasil Uji Efluen	Baku Mutu (Kadar Maksimum)(mg /L)	
					Perda DIY No. 7 Tahun 2016	Perme n LHK No. 68 Tahun 2016
1	Suhu	°C	28	29	±3	-
2	pH		6	6	6 - 9	6 - 9
3	Total Suspended Solids (TSS)	mg/l	456	208	75	20
4	Residu Terlarut (TDS)	mg/l	336	404	2000	-
5	BOD	mg/l	4125	250	75	30
6	COD	mg/l	332	190	200	100
7	Ammonia	mg/l	6,27	6,05	-	10
8	Minyak Lemak	mg/l	6,05	5,78	10	5
9	Detergen	mg/l	5,71	5,54	5	-
10	Total coliform	MPN/100	160000	35000	10000	3000

Terdapat beberapa-parameter yang belum memenuhi baku mutu yang ada berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan. Paramaeter yang telah memenuhi baku mutu yang ada seperti suhu, Ph, TDS, COD, dan Ammonia. Sementara itu,

parameter-parameter yang tidak memenuhi baku mutu antara lain TSS, BOD, Deterjen, serta Total Coliform.

pH merupakan ukuran yang menunjukkan tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan dan digunakan untuk menentukan apakah larutan bersifat asam atau basa. Parameter ini sangat berpengaruh terhadap kehidupan mikroorganisme, karena kondisi pH yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah dapat berdampak buruk bagi organisme air (Lestari, 2020). Pengukuran pH dilakukan dengan mencelupkan alat pH meter ke dalam sampel air limbah yang akan dianalisis. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan standar baku mutu yang tercantum dalam Peraturan Daerah DIY No. 7 Tahun 2016 dan Permen LHK No. 68 Tahun 2016. Berdasarkan hasil pengujian pada IPAL Komunal Manden, pH air limbah pada influen dan efluen sama-sama berada pada nilai 6. Nilai ini masih termasuk dalam rentang pH yang diperbolehkan sesuai baku mutu yang berlaku. Nilai pH berperan penting dalam mendukung aktivitas mikroorganisme di dalam reaktor pengolahan. Jika pH terlalu ekstrem, proses pengolahan biologis menjadi sulit dilakukan karena mikroorganisme yang berperan dalam pengolahan sangat sensitif terhadap perubahan pH. Nilai pH yang mendekati netral menunjukkan bahwa proses pengolahan limbah berlangsung dengan baik dan unit pengolahan berfungsi secara optimal.

Total Suspended Solid (TSS) merupakan partikel-partikel padat yang mengambang dalam air dan tidak dapat larut. Zat padat tersuspensi ini terbagi menjadi dua jenis, yaitu organik dan anorganik. Dalam air limbah domestik, kandungan TSS umumnya berasal dari sisa makanan, sehingga tergolong dalam kelompok padatan organik. Parameter TSS berkaitan erat dengan tingkat kekeruhan air atau NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) (Winarsih & La Ode Alirman A, 2016). Peningkatan kadar TSS akan menyebabkan air menjadi lebih keruh dan menghambat masuknya cahaya matahari ke dalam badan air, yang berdampak negatif terhadap proses fotosintesis dan respirasi organisme akuatik (Fathiyah et al., 2017). Hasil pengukuran TSS pada air limbah menunjukkan bahwa konsentrasi TSS pada influen sebesar 456 mg/L, sedangkan pada efluen sebesar 208 mg/L. Kedua nilai ini masih melebihi ambang batas yang ditetapkan dalam Perda DIY No. 7 Tahun 2016 dan Permen LHK No. 68 Tahun 2016, sehingga disimpulkan bahwa

baik air limbah masuk maupun air limbah keluar dari IPAL Komunal belum memenuhi standar baku mutu untuk parameter TSS. Tingginya kadar TSS tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti masuknya sampah-sampah ke dalam sistem IPAL serta kurangnya pemeliharaan, khususnya proses pengurasan. Jika IPAL jarang dikuras, maka endapan lumpur akan terus menumpuk dan meningkatkan kadar TSS pada air limbah yang diolah. Salah satu langkah perbaikan yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan saringan atau filter pada saluran influen dan efluen, agar partikel tersuspensi dapat tertahan dan kadar TSS dalam air limbah dapat diturunkan.

Total Dissolved Solids (TDS) merupakan jumlah total zat padat yang larut dalam air, yang mencakup kandungan zat organik, anorganik, mineral, serta berbagai material lainnya yang berada dalam bentuk terlarut (Ade Rahma Yulis & Sari, 2021). Zat terlarut ini biasanya terdiri dari partikel-partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan padatan tersuspensi. TDS umumnya terbentuk dari ion-ion anorganik yang berada dalam perairan (Muthmainnah & Agus Mulyono, 2022). Untuk menilai kualitas air limbah domestik berdasarkan parameter TDS, hasil pengujian kadar TDS pada influen dan efluen IPAL Komunal dibandingkan dengan baku mutu yang tercantum dalam Perda DIY No. 7 Tahun 2016, yang menyatakan batas maksimum TDS sebesar 2000 mg/l. Berdasarkan hasil uji, kadar TDS pada influen sebesar 336 mg/l dan pada efluen sebesar 404 mg/l. Meskipun terdapat peningkatan kadar TDS pada efluen, kedua nilai tersebut masih berada dalam batas yang diperbolehkan menurut baku mutu. Peningkatan kadar TDS pada efluen dapat disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme selama proses pengolahan, khususnya pada saat dekomposisi senyawa organik. Proses ini berpotensi melepaskan ion-ion anorganik ke dalam air, yang menyebabkan bertambahnya zat terlarut. Kadar TDS yang tinggi dapat berdampak pada peningkatan kekeruhan air, menghambat proses fotosintesis, serta dapat menyebabkan kenaikan suhu air (Muthmainnah & Agus Mulyono, 2022).

BOD (Biochemical Oxygen Demand) merupakan salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengukur jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam proses penguraian bahan organik, baik yang terlarut maupun yang tersuspensi di dalam air limbah. Semakin tinggi nilai BOD, maka

semakin buruk kualitas perairan yang bersangkutan. Pengujian BOD dilakukan dengan menggunakan metode iodometri (modifikasi azida). Berdasarkan hasil analisis, kadar BOD pada air limbah influen mencapai 4125 mg/l, sementara pada efluen sebesar 250 mg/l. Kedua nilai tersebut masih berada di atas ambang batas yang ditetapkan dalam standar baku mutu, sehingga dapat disimpulkan bahwa kualitas air limbah sebelum dan sesudah pengolahan belum memenuhi ketentuan yang berlaku. Tingginya konsentrasi BOD ini dapat disebabkan oleh kebiasaan masyarakat yang membuang sisa makanan ke saluran air yang terhubung langsung dengan IPAL, serta oleh mikroorganisme dalam sistem IPAL yang belum sepenuhnya efektif dalam menguraikan bahan organik. Air limbah domestik yang memiliki kadar BOD tinggi sangat berpotensi menurunkan kualitas lingkungan perairan dan memberikan dampak negatif terhadap ekosistem serta kehidupan biota akuatik.

Chemical Oxygen Demand (COD) merupakan parameter yang menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan bahan organik dalam air. Semakin tinggi nilai COD, maka kualitas air cenderung semakin buruk, karena mikroorganisme akan membutuhkan lebih banyak oksigen untuk proses dekomposisi, sehingga menyebabkan penurunan kadar oksigen terlarut (DO) akibat banyaknya oksigen yang digunakan (Lestari, 2020). Pengukuran COD dilakukan menggunakan metode refluks tertutup dengan analisis spektrofotometri. Berdasarkan hasil uji, kadar COD pada influen air limbah tercatat sebesar 332 mg/l, yang berarti belum memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan. Sementara itu, kadar COD pada efluen air limbah sebesar 190 mg/l, dan nilai ini sudah berada dalam batas baku mutu yang berlaku. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proses pengolahan air limbah telah berhasil menurunkan kandungan COD hingga berada pada level yang diperbolehkan.

Minyak dan lemak merupakan komponen yang umum ditemukan dalam bahan makanan dan turut terbawa dalam air limbah. Karena sifatnya yang ringan dan tidak larut dalam air, minyak dan lemak akan mengapung serta membentuk lapisan tipis di permukaan air, yang dapat membatasi masuknya oksigen dari udara ke dalam air (Maulani & Widodo, 2016). Jika konsentrasi minyak dan lemak melebihi ambang batas, lapisan tersebut akan menghambat proses difusi oksigen ke

dalam air dan berpotensi mengganggu kelangsungan hidup organisme air. Kandungan minyak dan lemak yang tinggi dapat menyebabkan penurunan kualitas air dan merusak ekosistem perairan di sekitarnya (Ahmad & Yelmida dan I. P. Friska, 2011). Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar minyak dan lemak dalam influen air limbah mencapai 6,05 mg/l, sementara pada efluen nilainya menurun menjadi 5,78 mg/l. Kedua nilai ini masih berada dalam batas yang diperbolehkan menurut Perda DIY No. 7 Tahun 2016. Konsentrasi minyak dan lemak yang ditemukan kemungkinan besar berasal dari limbah dapur rumah tangga yang masuk ke sistem IPAL Komunal. Untuk mengatasi hal ini, perlu disediakan unit pengolahan khusus seperti grease trap yang berfungsi untuk memisahkan minyak dan lemak sebelum limbah masuk ke tahap pengolahan berikutnya.

Deterjen merupakan campuran berbagai bahan kimia yang digunakan untuk keperluan pembersihan, seperti mencuci pakaian, membersihkan perabot rumah tangga, hingga mandi. Zat ini umumnya mengandung lebih dari satu jenis surfaktan dan berasal dari bahan dasar minyak bumi serta senyawa kimia lainnya (Harfadli et al., 2021). Pengujian konsentrasi deterjen dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-VIS dengan metode MBAS (Fatikasari et al., 2022) Untuk menilai kualitas air limbah berdasarkan parameter deterjen, hasil uji dibandingkan dengan standar baku mutu yang tercantum dalam Perda DIY No. 7 Tahun 2016, yang menetapkan batas maksimum kadar deterjen sebesar 5 mg/l. Berdasarkan hasil pengujian, kadar deterjen pada influen air limbah mencapai 5,71 mg/l, sedangkan pada efluen sebesar 5,54 mg/l. Keduanya melebihi ambang batas yang diperbolehkan, sehingga dapat disimpulkan bahwa kadar deterjen dalam air limbah tersebut belum memenuhi standar yang berlaku. Konsentrasi deterjen yang tinggi dalam air limbah dapat menyebabkan pencemaran dan berdampak negatif terhadap kualitas air serta kehidupan organisme di lingkungan perairan (Imtiyas & Rachmadiarti, 2019).

Total coliform merupakan kelompok bakteri yang digunakan sebagai indikator untuk menilai tingkat sanitasi, keberadaan kotoran, dan potensi pencemaran pada produk seperti susu, makanan, dan hasil olahan susu lainnya. Bakteri ini umum ditemukan dalam jumlah besar pada feses manusia dan hewan (Faradila et al., 2023) Bakteri koliform bersifat toksik dan dapat mengganggu

sistem pencernaan. Paparan koliform yang tinggi dapat menyebabkan berbagai penyakit serius pada manusia, seperti diare, meningitis, hingga gagal ginjal akut. Selain itu, tingginya kadar total koliform dalam air juga dapat menyebabkan kematian massal pada ikan dan organisme akuatik lainnya (Tinggi et al., 2022). Untuk menilai kualitas air limbah berdasarkan parameter total koliform, hasil pengujian dibandingkan dengan standar baku mutu yang ditetapkan dalam Perda DIY No. 7 Tahun 2016. Batas maksimum yang diperbolehkan untuk parameter ini adalah 10.000 MPN/100 ml. Berdasarkan hasil uji, jumlah total koliform pada influen IPAL Komunal tercatat sebesar 160.000 MPN/100 ml, dan pada efluen sebesar 35.000 MPN/100 ml. Kedua nilai ini menunjukkan bahwa kadar total koliform masih melebihi ambang batas yang ditentukan. Tingginya konsentrasi koliform ini kemungkinan besar disebabkan oleh keberadaan sabun atau deterjen dalam air limbah, di mana kandungan antiseptiknya dapat merusak keseimbangan mikroorganisme alami dalam air dan menurunkan efektivitas proses biologis di IPAL (Faradila et al., 2023).

4.3 Uji Toksisitas

4.3.1 Seleksi Embrio Ikan Zebra

Pada penelitian ini, embrio yang digunakan adalah embrio yang telah dibuahi dengan berumur kurang dari 6 jam setelah pembuahan dan tahap perkembangannya seragam. Umur embrio yang paling umum digunakan adalah 3 jam. Hal ini bertujuan agar paparan larutan uji dapat menembus lapisan korion embrio (OECD, 2013).

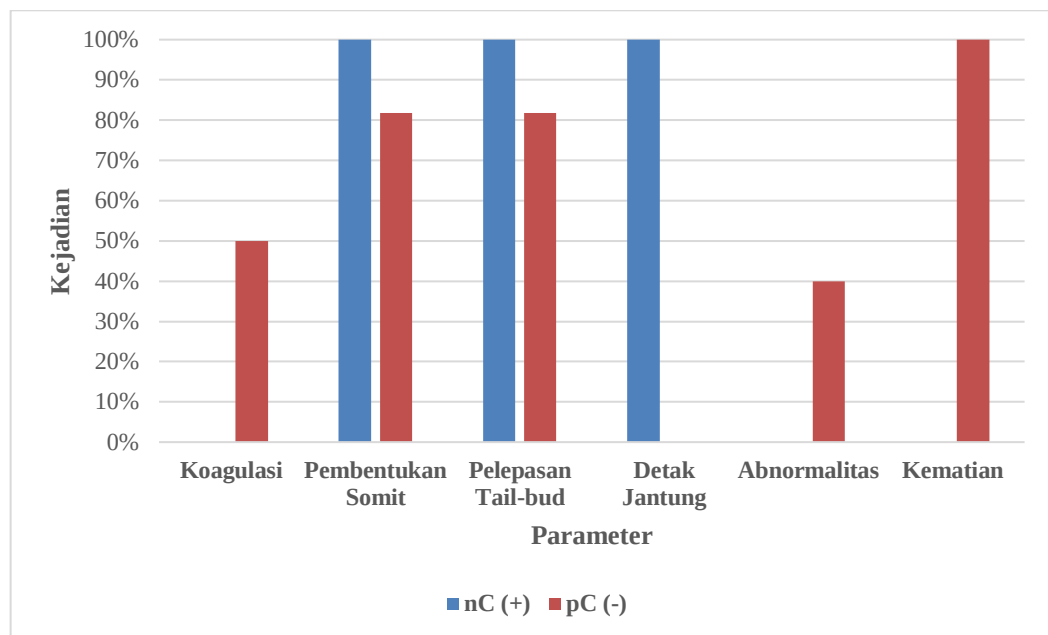


Gambar 4. 1 Embrio Umur 2,75 Jam
Sumber: Dokumentasi Pribadi

4.3.2 Validitas Uji

Hasil validitas pengujian mengikuti standar yang diatur dalam OECD 2013. Embrio ikan zebra yang digunakan dalam penelitian dipilih dari embrio dengan

tingkat pembuahan $\geq 70\%$ dan dalam kondisi normal. Suhu air selalu dipertahankan pada suhu $26 \pm 1^\circ\text{C}$ selama penelitian. Berdasarkan gambar 4.2 kelompok kontrol negatif menunjukkan kelangsungan hidup $\geq 90\%$ dengan tingkat penetasan $\geq 80\%$ hingga akhir peparan 96 jam. Sedangkan, kelompok kontrol positif memiliki mortalitas 100% yang berarti memenuhi standar OECD 2013 yang menetapkan mortalitas minimal 30% sampai akhir pemaparan 96 jam. Tidak ada satu embrio yang menunjukkan penghambatan atau keterlambatan dalam pembentukan somit dan pelepasan tail-bud pada kelompok kontrol negatif.



Gambar 4. 2 Grafik Hasil Kelompok Kontrol

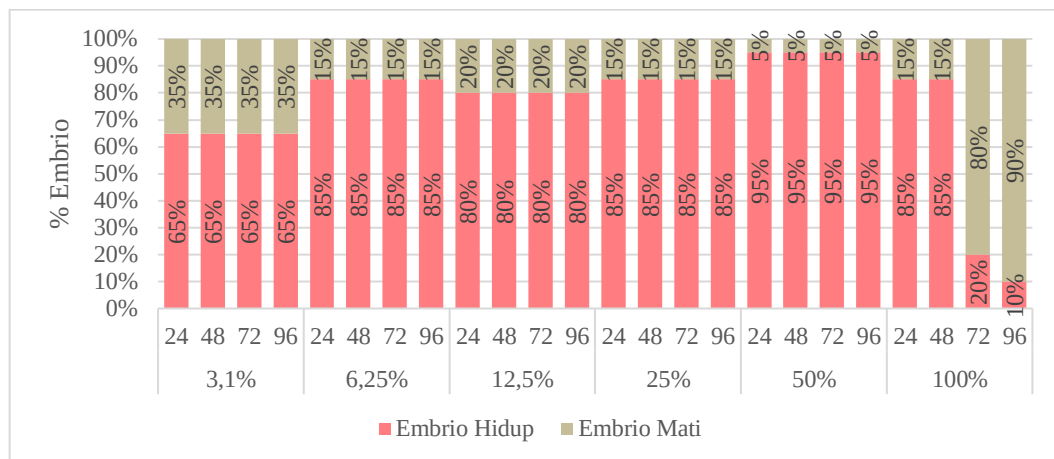
4.3.3 Hasil Uji Toksisitas Akut Air Limbah Influen dan Efluen IPAL Komunal pada Embrio Ikan Zebra

Uji toksisitas dilakukan selama 96 jam. Uji toksisitas menggunakan sampel larutan yang sama dari awal pengamatan hingga akhir pengamatan. Data kuantitatif terdiri dari persentase embrio mengalami koagulasi yang dihitung berdasarkan total embrio digunakan, persentase embrio yang terbentuk somit yang dihitung dari jumlah embrio yang hidup, persentase embrio yang tunas ekornya lepas dari kuning telur dihitung terhadap banyaknya embrio yang hidup, persentase adanya detak jantung yang terlihat dihitung terhadap banyak embrio yang hidup, persentase embrio yang mengalami kematian yang dihitung terhadap banyaknya embrio yang

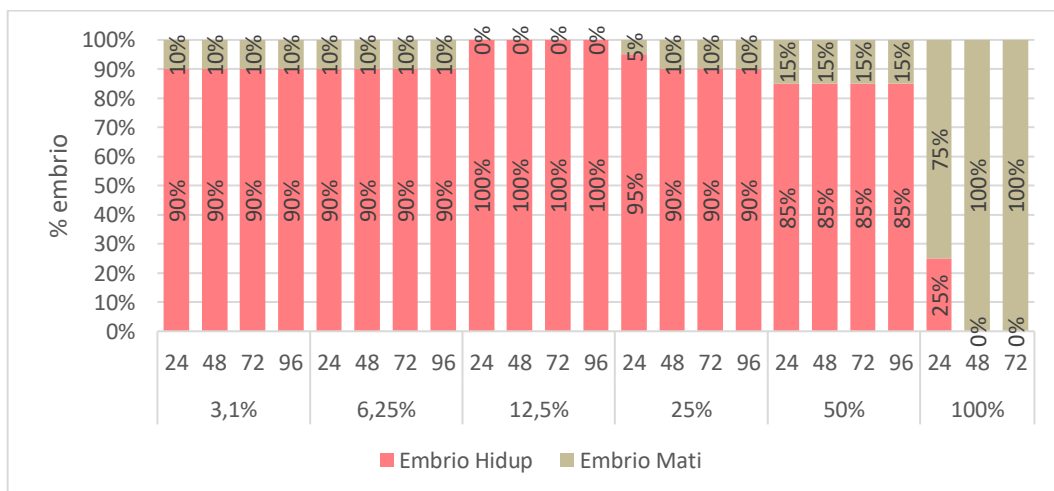
digunakan, serta persentase embrio yang mengalami kelainan yang dihitung terhadap jumlah embrio yang digunakan.

4.3.3.1 Embrio yang Mengalami Kematian

Kematian embrio ikan zebra terjadi akibat paparan senyawa uji yang bersifat toksik. Tanda-tanda kematian embrio dapat dikenali melalui beberapa indikator, seperti terbentuknya koagulasi, tidak terbentuknya somite, gagalnya pelepasan bagian ekor (tail-bud) dari kuning telur (yolk), tidak terjadinya proses menetas (hatching), serta tidak terdeteksinya detak jantung hingga akhir masa pengamatan pada jam ke-96. Persentase kematian embrio akibat paparan tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik berikut ini:



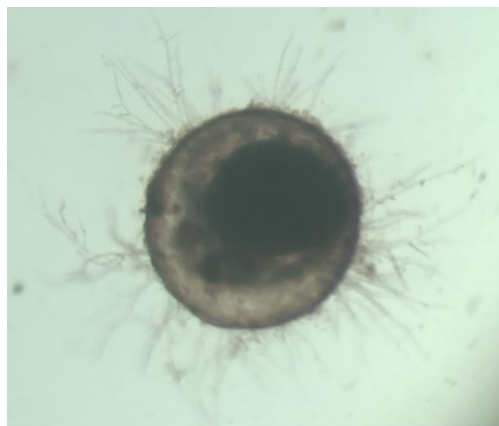
Gambar 4. 3 Grafik Jumlah Embrio Hidup dan Mati pada Paparan Air Limbah Influen IPAL Komunal



Gambar 4. 4 Grafik Jumlah Embrio Hidup dan Mati pada Paparan Air Limbah Efluen IPAL Komunal

Berdasarkan Gambar 4.3, jumlah embrio yang mengalami kematian cenderung stabil pada konsentrasi 3,1%, 6,25%, 12,5%, 25%, dan 50% dari jam ke-24 hingga jam ke-96. Namun, mortalitas tertinggi embrio ikan zebra terjadi pada konsentrasi 3,1% dan 100%. Pada konsentrasi 3,1%, jumlah embrio yang mengalami kematian mencapai 35% embrio pada seluruh waktu pengamatan. Sedangkan, pada konsentrasi 100%, tingkat kematian meningkat secara signifikan pada jam ke-72 dan 96. Tingkat kematian paling banyak terjadi disebabkan oleh koagulasi embrio dan ketiadaan detak jantung.

Berdasarkan Gambar 4.4, pada konsentrasi 3,1%, 6,25%, dan 50% kematian cenderung stabil pada dari awal pengamatan jam ke-24 hingga jam ke-96. Pada konsentrasi 25%, tingkat kematian meningkat pada jam ke-48 sebanyak 10% embrio. Kematian tertinggi terjadi pada konsentrasi 50% dan 100%. Pada konsentrasi 100% semua embrio telah mengalami kematian sejak jam ke-48. Tingkat kematian paling banyak disebabkan oleh koagulasi embrio dan ketiadaan detak jantung.



Gambar 4. 5 Koagulasi pada Konsentrasi 3,1%

Sumber: Dokumentasi pribadi

Koagulasi merupakan salah satu indikator kematian pada embrio ikan zebra. Koagulasi merupakan salah satu parameter yang diamati pada embrio ikan zebra guna mengetahui toksisitas air limbah selama 96 jam. Embrio yang mengalami koagulasi dapat dilihat dari warna putih susu dan tampak gelap apabila diamati dibawah mikroskop (OECD, 2013). Pada pemaparan sampel air limbah influen dan efluen IPAL Komunal, menunjukkan bahwa koagulasi embrio tidak selalu

meningkat secara liner dengan konsentrasi zat uji. Hal ini mungkin dapat terjadi karena pada konsentrasi rendah zat toksik larut sempurna dalam aquabides sehingga lebih mudah untuk diserap oleh embrio atau masuk ke dalam korion. Sedangkan pada konsentrasi tertinggi, zat tersebut mungkin menggumpal terikat pada partikel atau membentuk endapan sehingga tidak mudah untuk masuk ke dalam korion atau diserap oleh tubuh embrio.

Berdasarkan data-data toksisitas paparan influen dan efluen yang telah dijelaskan diatas, perbandingan profil toksisitas sampel air limbah influen dan efluen IPAL Komunal dapat dianalisis melalui beberapa parameter biologis embrio ikan. Jumlah kematian embrio lebih tinggi pada paparan sampel influen dibandingkan efluen. Ini mengidentifikasikan bahwa influen memiliki tingkat toksisitas yang lebih tinggi secara umum. Hal ini diperkuat oleh data koagulasi embrio, dimana lebih banyak embrio ikan zebra mengalami koagulasi pada pemaparan influen. Meskipun pada konsentrasi efluen 100% menghasilkan kematian terbanyak dibanding influen 100%, pada konsentrasi dibawahnya sampel influen menghasilkan kematian paling banyak dibanding sampel efluen.

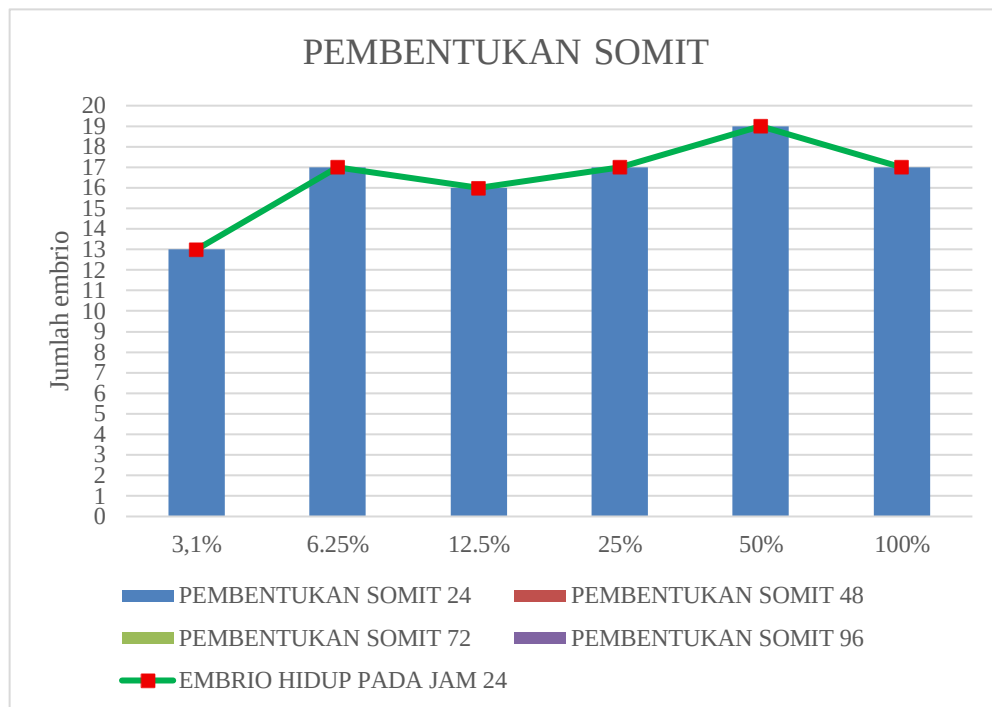
4.3.3.2 Embrio yang Mengalami Pembentukan Somit

Perkembangan somit merupakan bagian penting dalam embriogenesis ikan zebra, karena somit akan membentuk tulang belakang dan otot rangka seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Terganggunya pembentukan somit akan berdampak pada kelainan sumbu tubuh dan proses penetasan embrio. Umumnya, embrio mengalami pembentukan somit pada jam ke-24. Somit seharusnya sudah terbentuk paling lambat setelah 48 jam. Jika tidak ada pembentukan somit maka embrio dianggap mati.

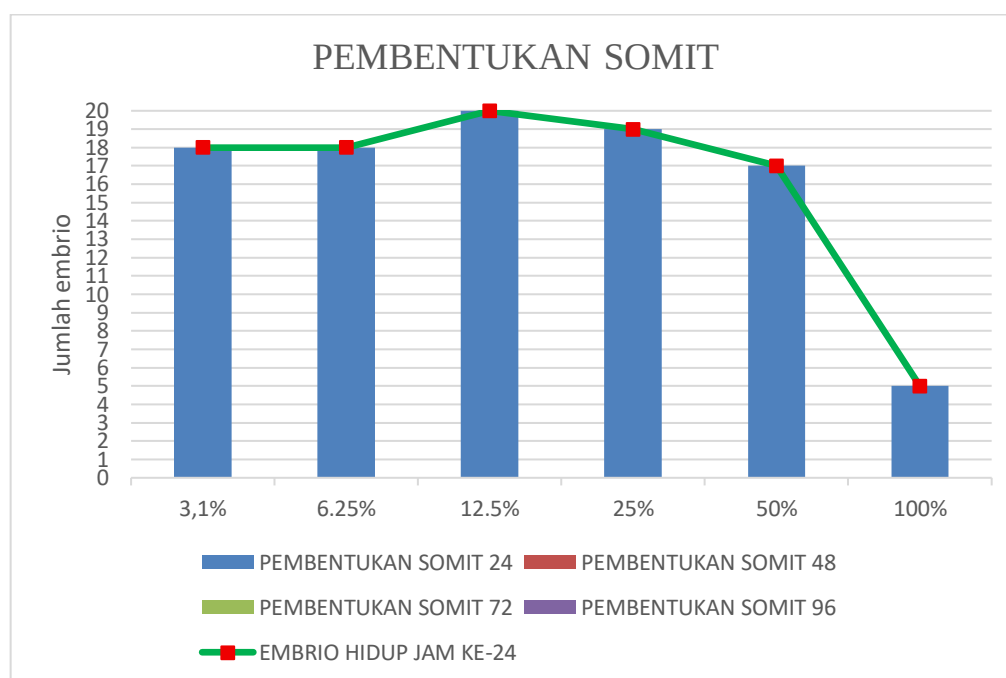


Gambar 4. 6 Embrio yang Mengalami Pembentukan Somit pada Konsentrasi 3,1%

Sumber: Dokumentasi pribadi



Gambar 4. 7 Grafik Embrio Ikan Zebra yang Mengalami Pembentukan Somit pada Paparan Air Limbah Influen IPAL Komunal



Gambar 4. 8 Grafik Embrio Ikan Zebra yang Mengalami Pembentukan Somit pada Paparan Air Limbah Efluen IPAL Komunal

Berdasarkan Gambar 4.7, semua embrio ikan zebra yang hidup pada seluruh konsentrasi telah mengalami pembentukan somit pada jam ke-24. Tidak ditemukan embrio ikan zebra yang hidup mengalami keterlambatan pembentukan somit. Somit pada embrio ikan zebra yang telah terbentuk pada jam ke-24 jumlahnya akan sama hingga jam ke-96 meskipun terjadi kematian. Namun, jika terjadi kematian setelah jam ke-24 maka somit yang telah terbentuk berhenti berkembang.

Berdasarkan Gambar 4.8, seluruh embrio ikan zebra yang hidup telah mengalami pembentukan somit pada jam ke-24. Tidak ditemukan embrio ikan zebra yang mengalami keterlambatan pembentukan somit. Somit yang telah terbentuk di jam ke-24 jumlahnya akan sama hingga jam ke-96 meskipun terjadi kematian pada embrio ikan zebra. Apabila embrio ikan zebra mengalami kematian setelah jam ke-24, jika sebelumnya somit sudah terbentuk maka tetap dihitung sama hingga akhir pengamatan. Embrio ikan zebra yang mengalami kematian setelah jam ke-24 maka somit yang telah terbentuk berhenti berkembang.

Berdasarkan data-data toksisitas paparan influen dan efluen yang telah dijelaskan diatas, perbandingan profil toksisitas sampel air limbah ifluen dan efluen IPAL Komunal dapat dianalisis melalui beberapa parameter biologis embrio ikan. Pada parameter pembentukan, baik pada sampel influen maupun efluen IPAL

Komunal, semua embrio yang hidup pada masing-masing konsentrasi menunjukkan pembentukan somit dari awal pengamatan jam ke-24.

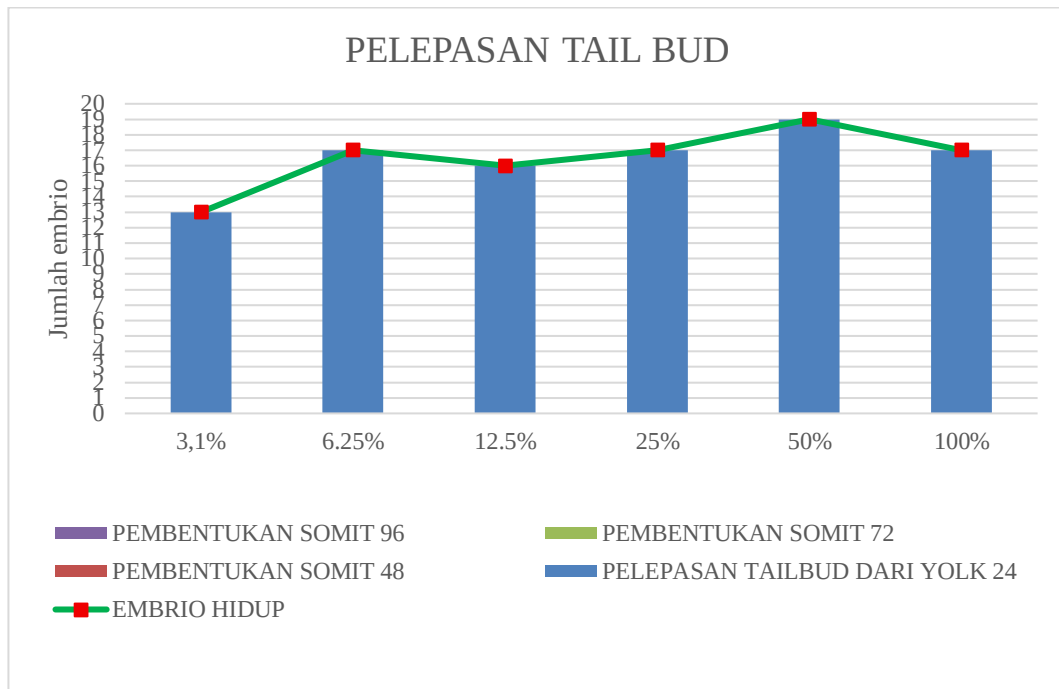
4.3.3.3 Lepasnya Bagian Kuncup Ekor dari Kuning Telur

Pelepasan *tail-bud* dari kuning telur adalah parameter lain yang diamati selama pemaparan senyawa uji. *Tail-bud* adalah bagian dari ekor embrio, sedangkan kuning telur adalah bagian kuning telur embrio yang berbentuk bulat yang ditempeli di ekor embrio dan berfungsi untuk menyediakan nutrisi bagi embrio. Kemampuan embrio untuk melepaskan tunas ekor dari kuning telur menentukan perkembangan embrio, yang mempengaruhi seberapa cepat telur dapat menetas .

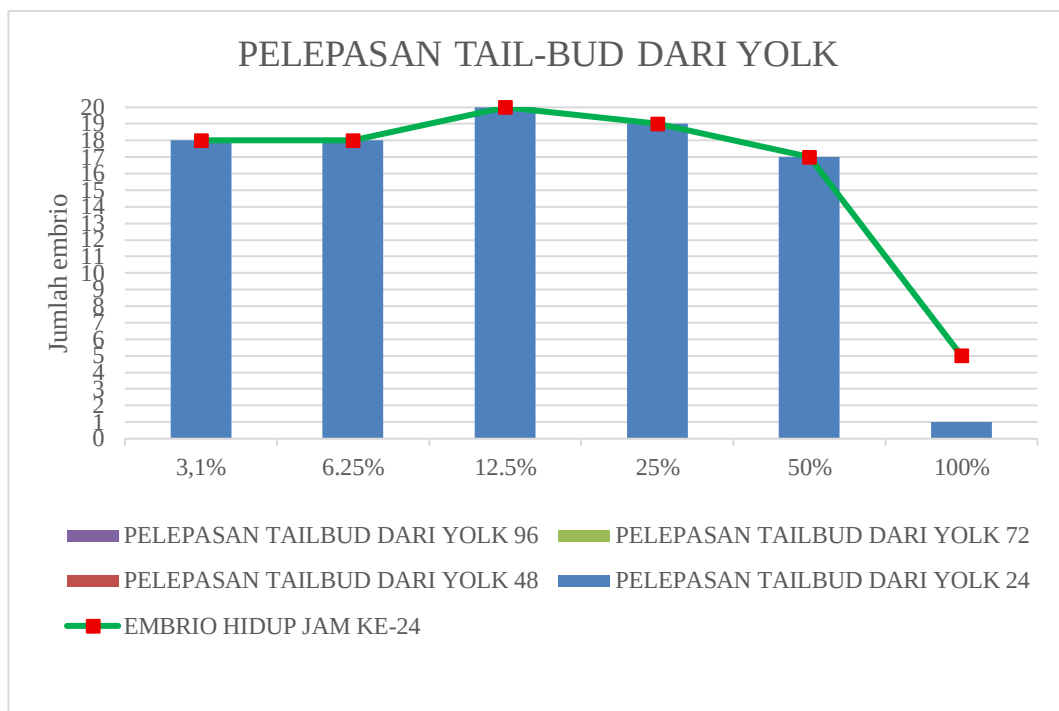


Gambar 4. 9 Embrio yang Mengalami Pelepasan Kuncup Ekor dari Kuning Telur pada Konsentrasi 50%

Sumber: Dokumentasi pribadi



Gambar 4. 10 Grafik Embrio Ikan Zebra yang Mengalami Pelepasan Tail-bud dari Yolk pada Paparan Air Limbah Influen IPAL Komunal



Gambar 4. 11 Grafik Embrio Ikan Zebra yang Mengalami Pelepasan Tail-bud dari Yolk pada Paparan Air Limbah Efluen IPAL Komunal

Berdasarkan Gambar 4.10, seluruh embrio ikan yang hidup pada semua konsentrasi telah mengalami pelepasan tail-bud dari yolk sejak jam ke-24. Tidak

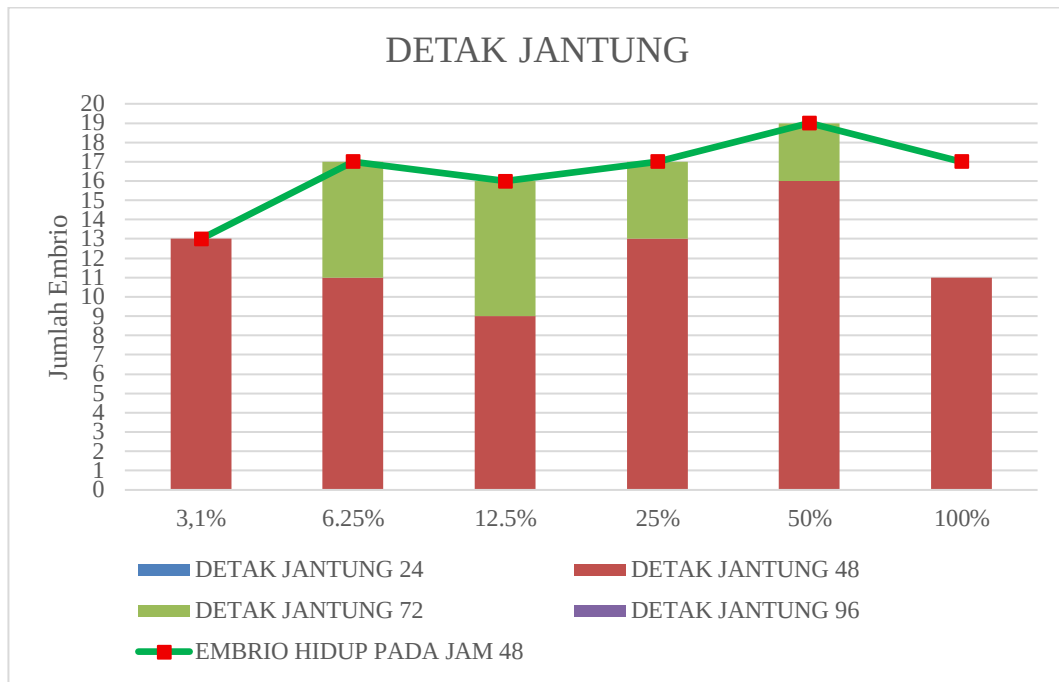
ditemukan embrio yang mengalami keterlambatan pelepasan *tail-bud* pada sampel air limbah influen IPAL Komunal. Sama seperti parameter somit, pelepasan *tail-bud* dari *yolk* yang telah terbentuk pada jam ke-24 jumlahnya akan sama hingga jam ke-96 meskipun terjadi kematian setelah jam ke-24. Jadi, meskipun embrio ikan zebra mati setelah jam ke-24, jika telah terjadi pelepasan *tail-bud* dari *yolk* sebelumnya, maka tetap dihitung berkembang sampai akhir.

Berdasarkan Gambar 4.11, pada konsentrasi 3,1% hingga 50%, seluruh embrio yang hidup pada konsentrasi tersebut sudah terjadi pelepasan *tail-bud* dari *yolk* sejak jam ke 24. Sementara itu, pada konsentrasi 100% terjadi keterlambatan pelepasan *tail-bud* dari *yolk*. Dari total 5 embrio yang hidup hanya 1 embrio yang mengalami pelepasan *tail-bud* dari *yolk* pada jam ke-24. Pada konsentrasi 100% Pelepasan *tail-bud* dari *yolk* hanya dapat diamati pada jam ke-24. Hal ini dikarenakan pada jam ke 48 seluruh embrio telah mengalami kematian. Sehingga hanya 1 embrio saja yang mengalami pelepasan *tail-bud* dari *yolk*.

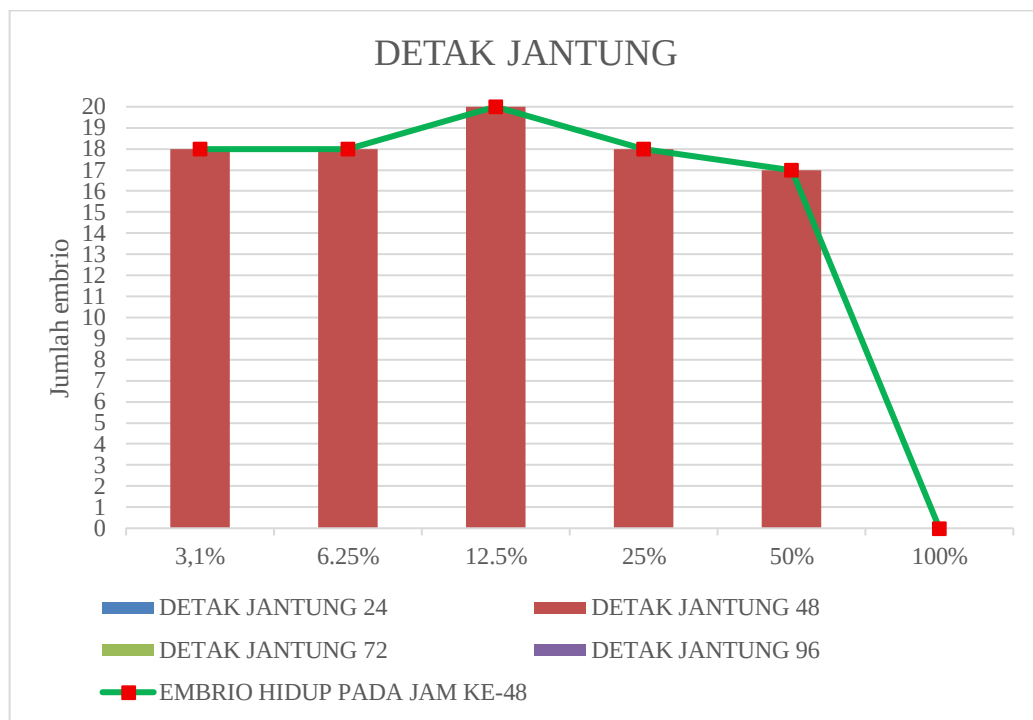
Berdasarkan data-data toksisitas paparan influen dan efluen yang telah dijelaskan diatas, perbandingan profil toksisitas sampel air limbah ifluen dan efluen IPAL Komunal dapat dianalisis melalui beberapa parameter biologis embrio ikan. Pada parameter pelepasan *tail-bud* dari *yolk*, baik pada sampel influen maupun efluen IPAL Komunal, semua embrio yang hidup pada masing-masing konsentrasi menunjukkan pelepasan *tail-bud* dari awal pengamatan jam ke-24. Namun pada sampel efluen konsentrasi 100% terjadi keterlambatan pelepasan *tail-bud* dari *yolk*.

2.3.3.4 Adanya Detak Jantung

Dalam perkembangan embrio ikan zebra, jantung adalah organ pertama yang terbentuk dan mulai berfungsi penuh pada umur 72 jam pasca pembuahan. Proses pembentukan jantung sangat kompleks dan rentan terhadap paparan zat pencemar lingkungan. Gangguan pada perkembangan jantung dapat menyebabkan kelainan hingga kematian (Kumar & Chadha, 2025). Kemungkinan penyebab tidak terdeteksinya detak jantung karena stress oksidatif. Selain itu, adanya gangguan fungsi jantung dan kontraksi yang tidak normal pada sel otot jantung (Lin et al., 2021).



Gambar 4. 12 Grafik Adanya Detak Jantung Embrio Ikan Zebra pada Paparan Sampel Air Limbah Influen IPAL Komunal



Gambar 4. 13 Grafik Adanya Detak Jantung Embrio Ikan Zebra pada Paparan Sampel Air Limbah Efluen IPAL Komunal

Berdasarkan Gambar 4.12, hanya konsentrasi 3,1% yang tidak mengalami keterlambatan detak jantung. Detak jantung pada konsentrsi 3,1% sudah terbentuk

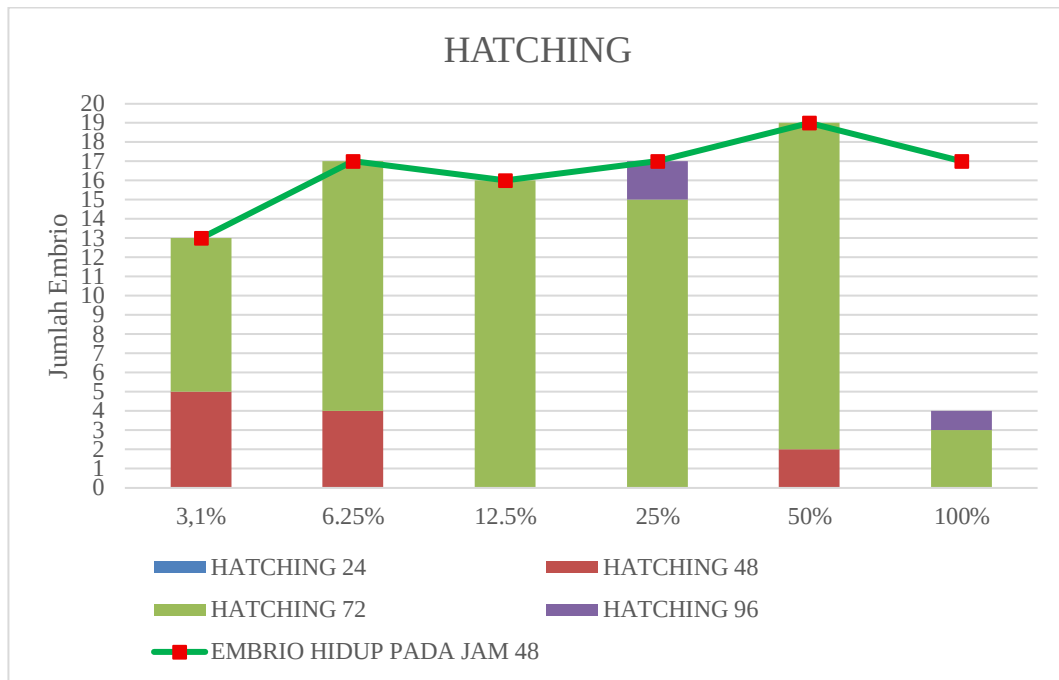
semuanya sejak jam ke-48. Sementara itu pada konsentrasi 6,25% hingga 100% terjadi keterlambatan adanya detak jantung. Pada konsentrasi 6,25% hingga 50%, detak jantung terdeteksi seluruhnya pada jam ke 72. Sedangkan, pada konsentrasi 100%, detak jantung belum sepenuhnya terbentuk pada jam ke-48 dan pada jam setelahnya terjadi penurunan karena ada kematian.

Berdasarkan Gambar 4.13, pada konsentrasi 3,1% hingga 50%, seluruh embrio yang hidup pada konsentrasi tersebut sudah terdeteksi detak jantungnya sejak jam ke-48. Tidak ditemukan embrio yang mengalami keterlambatan pembentukan detak jantung maupun penurunan detak jantung. Namun, pada konsentrasi 100% detak jantung tidak terbentuk. Hasil ini sejalan dengan tidak adanya embrio yang hidup pada jam tersebut dan jam seterusnya karena semua embrio telah mengalami kematian.

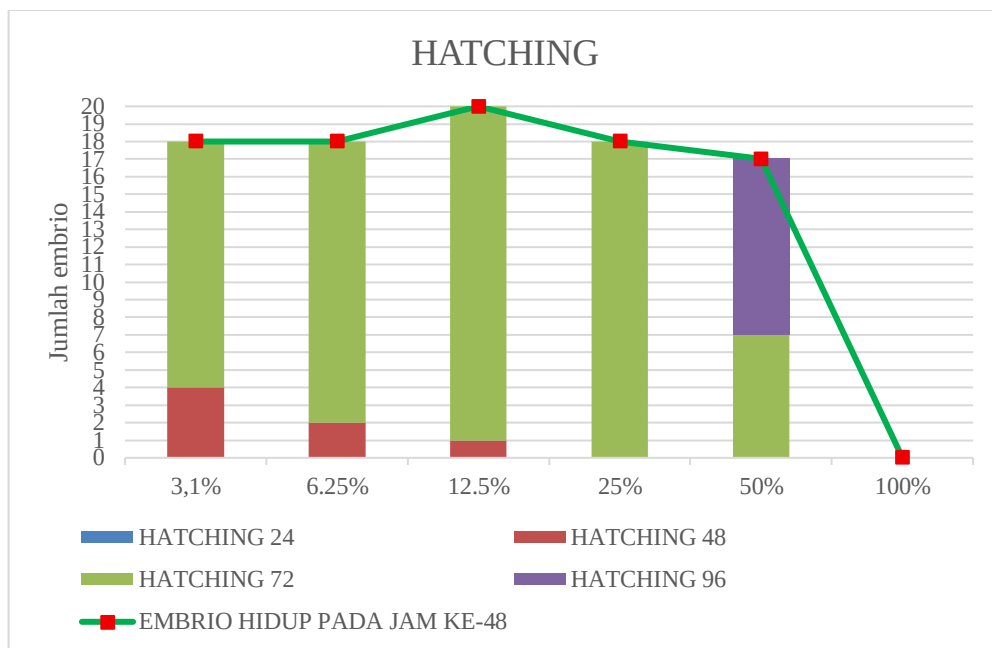
Berdasarkan data-data toksisitas paparan influen dan efluen yang telah dijelaskan diatas, perbandingan profil toksisitas sampel air limbah influen dan efluen IPAL Komunal dapat dianalisis melalui beberapa parameter biologis embrio ikan. Pada parameter detak jantung, jumlah konsentrasi yang mengalami keterlambatan detak jantung lebih banyak pada paparan influen dibanding paparan efluen IPAL Komunal. Pada sampel efluen IPAL Komunal tidak ditemukan konsentrasi yang mengalami keterlambatan detak jantung kecuali pada konsentrasi 100% yang tidak terdeteksi jantungnya dari jam ke-48 hingga 96.

4.3.3.5 Embrio yang Mengalami *Hatching*

Hatching (penetasan) adalah proses penting yang terjadi ketika embrio menetas dari chorion (selubung pelindung telur). Proses ini merupakan transisi dari fase embrio ke fase larva. Aktivitas enzim penetas (*hatching enzyme/HE*) dapat melunakan atau memecah bagian dalam chorion. Gerakan tubuh embrio membantu mendorong keluar dari korion yang telah dilemahkan. Keterlambatan atau kegagalan *hatching* sering digunakan sebagai indikator efek subletal. Artinya, meskipun embrio tidak mati (belum mengalami koagulasi atau berdetak jantungnya), keterlambatan menunjukkan gangguan perkembangan yang serius. Jika embrio belum menetas hingga 72-96 hpf serta tidak menunjukkan aktivitas vital lainnya maka dapat dianggap sebagai efek toksik yang serius.



Gambar 4. 14 Grafik Embrio Ikan Zebra yang Hatching pada Paparan Sampel Air Linbah Influen IPAL Komunal



Gambar 4. 15 Grafik Embrio Ikan Zebra yang Hatching pada Paparan Sampel Air Linbah Efluen IPAL Komunal

Berdasarkan Gambar 4.16, sebagian besar hatching terjadi pada jam ke-72. Hal ini menunjukkan terjadinya keterlambatan hatching karena hatching normal terjadi pada jam ke 24. Pada konsentrasi 3,1%, 6,25%, dan 50% hatching telah terjadi pada jam 48 kemudian embrio yang hidup sepenuhnya hatching pada jam

ke-72. Pada konsentrasi 12,5%, embrio yang hidup telah sepenuhnya hatching pada konsentrasi jam ke-72. Namun, pada konsentrasi 25% belum semua embrio yang hidup hatching pada jam ke-72. Embrio hidup sepenuhnya hatching di jam ke-96, yang menandakan adanya ketermbatan penetasan. Pada konsentrasi 100%, jumlah embrio yang hidup pada jam ke-72 sebesar 4 embrio dengan total embrio yang hatching berjumlah 3 embrio pada jam ke-72. Kemudian, terjadi peningkatan jumlah hatching pada jam ke-96 sebesar 1 hatching. Hatching sepenuhnya terbentuk pada jam ke-96. ini menandakan adanya keterlambatan hatching.

Berdasarkan Gambar 4.17, sebagian besar embrio yang hidup hatching sepenuhnya pada jam ke-72. Hal ini mengindikasikan adanya keterlambatan hatching karena hatching normal terjadi pada jam ke-48. Pada konsentrasi 3,1% hingga 12,5% hatching telah terjadi pada jam ke-48 kemudian embrio hidup sepenuhnya hatching pada jam ke-72. Pada konsentrasi 25%, embrio hidup hatching sepenuhnya pada jam ke-72. Pada konsentrasi 50%, hatching baru terjadi pada jam ke 72 kemudian embrio yang hidup sepenuhnya hatching pada jam ke-96. Sementara itu, pada konsnetrasi 100%, pada jam ke-48 tidak ditemukan embrio yang hatching karena tidak ada embrio hidup pada jam tersebut dan jam seterusnya.

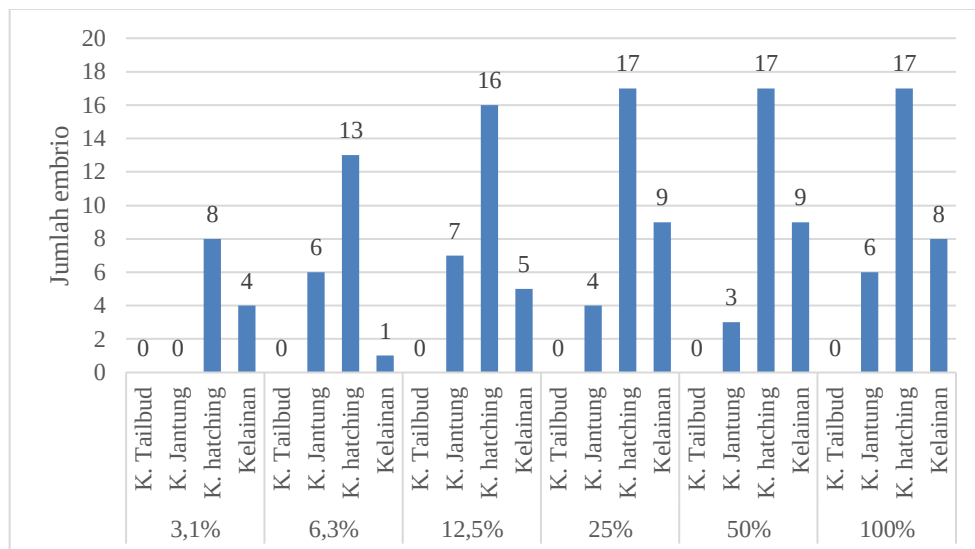
Keterlambatan hatching dapat terjadi karena embrio ikan zebra belum mencapai tahap perkembangan yang cukup untuk menetas, meskipun waktu inkubasi telah lewat, adanya gangguan produksi enzim hatching, serta kandungan kontaminan yang dapat menyebabkan stress atau toksisitas pada embrio. Pada parameter hatching, dimana jumlah konsentrasi yang mengalami keterlambatan hatching lebih banyak terjadi pada konsentrasi influen dibandingkan efluen. Ini menunuukkan bahwa paparan air limbah influen tidak hanya memicu kematian, tetapi juga menghambat perkembangan fisiologis penting embrio.

Secara keseluruhan, data-data toksisitas menunjukkan bahwa pada konsentrasi rendah (3,1% hingga 25%), toksisitas efluen cenderung lebih rendah dibanding influen, yang mengindikasikan bahwa sistem IPAL Komunal cukup efektif dalam mengurangi kandungan toksik dari air limbah. Namun, pada konsentrasi tinggi (50% dan 100%), tingkat toksisitas justru meningkat, terutama pada efluen konsentrasi 100% yang masih menunjukkan respons toksik yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun sistem IPAL berhasil mereduksi

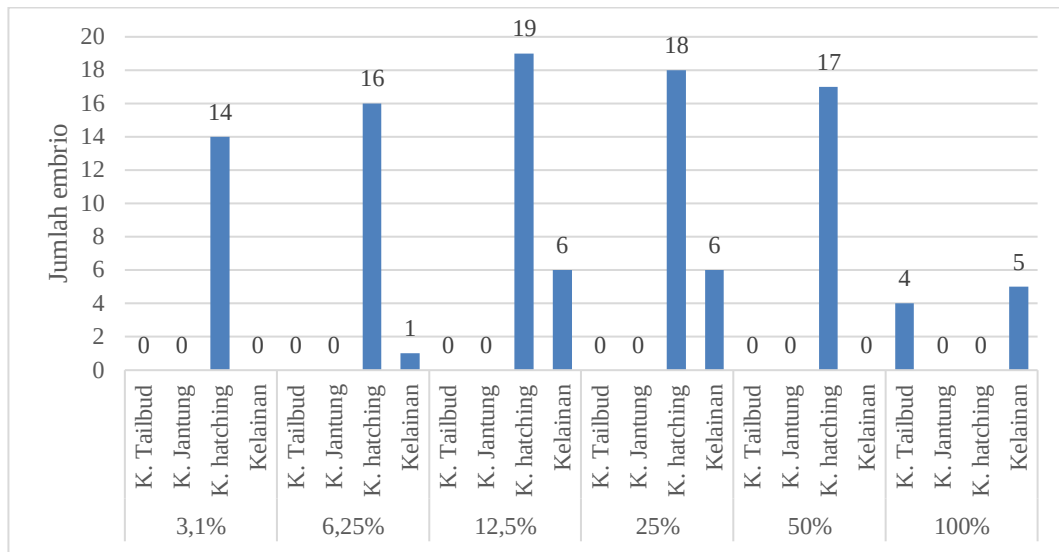
sebagian polutan, hasil olahan akhir masih memiliki potensi toksik terhadap organisme akuatik seperti embrio ikan zebra.

4.3.3.6 Embrio Ikan Zebra yang Mengalami Malformasi dan Kelainan Akibat Keterlambatan

Malformasi pada embrio merujuk pada kondisi ketika perkembangan embrio tidak berlangsung secara normal. Gangguan ini disebabkan oleh paparan senyawa uji yang bersifat toksik, sehingga embrio tidak mampu tumbuh secara sempurna. Beberapa bentuk abnormalitas yang diamati meliputi edema pada jantung (perikardium), pembengkakan pada kantung kuning telur, pembentukan somit yang tidak lurus, serta kelainan bentuk ekor. Evaluasi abnormalitas dilakukan selama masa pemaparan pada masing-masing kelompok perlakuan.



Gambar 4. 16 Grafik Embrio yang Mengalami Malformasai dan Kelainan Akibat Keterlambatan Pembentukan Parameter pada Paparan Air Limbah Influen IPAL Komunal



Gambar 4. 17 Grafik Embrio yang Mengalami Malformasi dan Kelainan Akibat Keterlambatan Pembentukan Parameter pada Paparan Air Limbah Influen IPAL Komunal

Pada paparan influen air limbah konsentrasi 3,1% malformasi yang terjadi yaitu adanya edema perikardium dan akumulasi darah di kantung kuning telur. Pada konsentrasi 6,25% terjadi malformasi berupa akumulasi darah di kantung kuning telur. Pada paparan dengan influen air limbah konsentrasi 25%, terdeteksi abnormalitas yang ditandai dengan pertumbuhan somit yang tidak lurus. Pada konsentrasi 50%, terjadi malformasi pada pertumbuhan somit yang tidak lurus. Pada konsentrasi tertinggi yaitu 100%, terjadi malformasi pertumbuhan somit yang tidak normal serta malformasi pada kepala dan mata embrio.

Sementara itu, pada paparan efluen air limbah dengan konsentrasi 6,25%, terdapat gangguan perkembangan berupa pertumbuhan somit yang tidak lurus, dan malformasi pada mata serta ekor. Pada konsentrasi 12,5%, terjadi malformasi ditandai dengan adanya edema perikardium. Pada konsentrasi 25%, terjadi kelainan berupa edema perikardium dan bentuk somit yang tidak lurus. Sedangkan pada konsentrasi efluen 100%, ditemukan abnormalitas berupa edema perikardium. Gambar berikut menunjukkan perbandingan antara embrio normal dan embrio yang mengalami malformasi.



Gambar 4. 18 Embrio Normal selama 96 jam Pemaparan



Gambar 4. 19 Malformasi edema kantung kuning telur dan somit tidak lurus



Gambar 4. 20 Edema perkardium, edema kantung kuning dan abnormalitas ekor



Gambar 4. 21 Akumulasi darah di bawah kantung kuning telur



Gambar 4. 22 Pembentukan somit yang tidak lurus dan akumulasi darah di bawah kantung kuning telur

Kelainan embrio akibat keterlambatan pembentukan dapat terjadi pada berbagai tahapan penting, yaitu pelepasan tail-bud dari yolk, kemunculan detak jantung, dan proses hatching. Keterlambatan pada ketiga fase ini mencerminkan

gangguan fisiologis yang dapat dikategorikan sebagai kelainan pembentukan karena mengindikasikan embrio tidak terbentuk sesuai waktu normal yang dibutuhkan untuk kelangsungan hidupnya.

Berdasarkan Gambar 4.16, kelainan tidak ditemukan pada parameter pelepasan tail-bud dari yolk di semua konsentrasi, yang mengindikasikan bahwa perkembangan awal embrio berlangsung normal. Kelainan mulai muncul pada parameter detak jantung sejak konsentrasi 6,25% hingga 100%. Kelainan pada tahap hatching terus meningkat seiring naiknya konsentrasi perlakuan dan mencapai angka tertinggi pada konsentrasi 25% hingga 100%.

Berdasarkan Gambar 4.17, kelainan embrio ikan zebra paling banyak terjadi pada tahap hatching, sementara pada parameter pelepasan tail-bud dari yolk ditemukan kelainan keterlambatan pelepasan tail-bud dari yolk pada konsentrasi 100%. Tidak ditemukan kelainan sama sekali pada parameter detak jantung pada konsentrasi 3,1% sampai 50%. Pada konsentrasi 100% tidak ditemukan satupun embrio yang memiliki detak jantung pada pengamatan jam ke-48 hingga 96. Jumlah kelainan pada hatching meningkat seiring bertambahnya konsentrasi. Keterlambatan hatching tertinggi terjadi pada konsentrasi 12,5%. Pada konsentrasi 100%, tidak ditemukan embrio hidup yang hatching pada jam 48. Hal ini dikarenakan seluruh embrio yang hidup pada jam ke-24 telah mengalami kematian pada jam ke-48.

Pelepasan tail-bud dari yolk umumnya terjadi pada jam ke-24. Jika pada pengamatan jam ke-24 hingga 96 pasca pembuahan ekor belum terlepas dari kuning telur, maka hal ini menunjukkan adanya gangguan pembentukan. Keterlambatan pelepasan tail-bud dari yolk menunjukkan bahwa embrio lambat dalam membentuk struktur tubuh utama, seperti sumbu tubuh dan bakal ekor. Hal ini dapat disebabkan oleh penurunan aktivitas metabolik akibat stress lingkungan.

Tidak adanya detak jantung pada embrio ikan zebra merupakan salah satu indikator kelainan yang penting untuk diamati. Detak jantung embrio ikan zebra biasanya mulai terlihat setelah 48 jam pasca pembuahan. Oleh karena itu, apabila embrio ikan zebra tidak menunjukkan detak jantung pada pengamatan di jam ke-48 hingga 96, maka embrio ikan zebra dikatakan mengalami kematian. Kemungkinan penyebab tidak terdeteksinya detak jantung karena stress. Selain itu, adanya

gangguan fungsi jantung dan kontraksi yang tidak normal pada sel otot jantung (Lin et al., 2021).

Tingkat penetasan (hatching) pada semua kelompok perlakuan dan kontrol harus dicatat mulai dari jam ke-48 pasca pembuahan. Meskipun parameter hatching bukan merupakan titik akhir (endpoint) yang digunakan secara langsung dalam perhitungan LC50, namun informasi mengenai penetasan tetap sangat penting dalam interpretasi data toksikologi. Keterlambatan hatching merupakan bentuk kelainan yang paling jelas terlihat. Embrio yang tidak mampu menetas pada waktu yang seharusnya akan tetap terkurung dalam korion. Keterlambatan hatching pada embrio ikan zebra dapat disebabkan oleh beberapa faktor yang menghambat proses penetasan meskipun waktu inkubasi telah melewati batas normal. Salah satu penyebab utamanya adalah belum tercapainya tahap perkembangan embrio yang cukup matang, sehingga embrio belum memiliki kekuatan atau kesiapan fisiologis untuk menetas. Selain itu, gangguan pada produksi atau pelepasan enzim hatching yang berfungsi melemahkan korion juga dapat menyebabkan embrio tertahan lebih lama di dalam korion. Faktor lainnya adalah adanya kontaminan atau senyawa toksik yang dapat menyebabkan stress dan toksisitas pada embrio.

4.4 Lethal Concentration (LC₅₀)

Berdasarkan data persentase kematian yang diperoleh, dilakukan perhitungan nilai LC₅₀ untuk air limbah influen dan efluen dari IPAL Komunal menggunakan metode analisis Spearman-Kärber. Nilai LC₅₀ menunjukkan konsentrasi senyawa uji yang dapat menyebabkan kematian pada 50% organisme uji, dalam hal ini embrio ikan zebra. Tujuan dari uji LC₅₀ ini adalah untuk mengetahui tingkat konsentrasi senyawa yang bersifat toksik terhadap embrio.

Tabel 4. 2 Nilai LC₅₀

Contoh Uji	LC ₅₀ (%)
Influen	30,2
Efluen	65,6

Berdasarkan Tabel 4.2, konsentrasi influen air limbah IPAL Komunal Manden sebesar 30,2% dan konsentrasi efluen air limbah IPAL Komunal Manden sebesar 65,6% diperkirakan dapat menyebabkan kematian pada 50% dari embrio ikan zebra. Untuk menghitung tingkat kepercayaan, dilakukan perhitungan interval kepercayaan 95% berdasarkan nilai varians (V) dari nilai m yang diperoleh menggunakan persamaan $m \pm 2\sqrt{V(m)}$. Sehingga dengan mengkonversi ke bentuk antilog diperoleh batas bawah LC₅₀ influen air limbah sebesar 24,2% dengan batas atas LC₅₀ influen air limbah sebesar 37,6%. Sementara itu, batas bawah LC₅₀ efluen air limbah sebesar 57,3% dengan batas atas LC₅₀ efluen air limbah sebesar 75,2%.

4.5 Toxicity Unite Acue (Tua)

Toxicity Unit Acute (TUa) merupakan nilai yang dihitung dari rumus 100 dibagi dengan LC₅₀, dan digunakan untuk mengukur tingkat toksisitas pada efluen, baik dalam bentuk toksisitas akut (TUa) maupun toksisitas kronis (TUc). Nilai ini menjadi acuan dalam menentukan seberapa beracun suatu limbah terhadap organisme uji.

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Nilai TUa

Contoh Uji	Nilai Tua
Influen	3,3
Efluen	1,5

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai TUa untuk air limbah dari influen dan efluen IPAL Komunal Manden masing-masing adalah 3,3 dan 1,5, sebagaimana

ditunjukkan pada Tabel 4.3. Berdasarkan kategori klasifikasi toksisitas, kedua nilai tersebut masuk ke dalam kelas 2, yang berarti limbah tersebut tergolong dalam *significat acute toxicity*.

4.6 Keterkaitan Karakteristik Air Limbah dengan Tingkat Toksisitas Hewan Uji

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada parameter fisik dan kimia dapat diketahui keterkaitan antara karakteristik air limbah dengan tingkat toksisitas hewan uji. Pada parameter pengujian influen dan efluen air limbah IPAL Komunal, terdapat beberapa parameter yang sudah memenuhi baku mutu dan yang belum memenuhi baku mutu air limbah IPAL Komunal. Parameter-parameter yang telah memenuhi baku mutu diantaranya suhu, pH, TDS, COD, Ammonia, serta Minyak dan Lemak. Sementara itu, parameter-parameter yang belum memenuhi baku mutu diantaranya TSS, BOD, Deterjen dan Total Coliform.

Pemaparan influen air limbah IPAL Komunal pada embrio ikan zebra menyebabkan kematian dan malformasi. Malformasi pada influen air limbah IPAL Komunal yaitu terjadinya pertumbuhan somit yang tidak lurus, edema perikardium, penggumpalan darah dibawah yolk, dan malformasi pada bentuk kepala dan mata. Sementara itu, pemaparan efluen air limbah IPAL Komunal pada embrio ikan zebra juga menyebabkan kematian dan malformasi. Malformasi pada efluen air limbah ditandai dengan adanya pertumbuhan somit yang tidak lurus, malformasi pada bagian mata dan ekor, serta edema perikardium. Hasil perhitungan LC_{50} pada influen air limbah IPAL Komunal sebesar 30,2% dengan nilai Tua sebesar 3,3 dimana nilai tersebut masuk ke dalam kategori kelas ke 3 yaitu toksitas akut. Sedangkan hasil perhitungan LC_{50} pada efluen air limbah IPAL Komunal sebesar 64,6% dengan nilai Tua sebesar 1,5 dimana nilai tersebut termasuk ke dalam kategori kelas ke 3 yaitu toksisitas akut. Hasil LC_{50} menunjukkan LC_{50} lebih tinggi pada efluen air limbah dibanding influen air limbah yang berarti efluen air lebih kurang toksik secara akut terhadap embrio ikan zebra. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar parameter uji maka semakin rendah nilai LC_{50} yang berarti sampel air limbah semakin toksik yang berpengaruh pada mortalitas dan malformasi pada hewan uji.

Hal ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi konsentrasi parameter pencemar dalam air limbah, maka nilai LC50 cenderung menurun, yang berarti tingkat toksisitasnya meningkat dan berdampak pada angka kematian dan malformasi pada hewan uji. Meski beberapa parameter seperti BOD, COD, TSS, dan total koliform mengalami penurunan setelah pengolahan, nilai-nilai tersebut masih belum berada dalam kisaran aman menurut baku mutu.

Tingginya kadar BOD dan COD dalam air limbah domestic berkaitan erat dengan tingginya beban materi organik yang dikonsumsi oleh mikroba sehingga mengurangi kadar oksigen terlarut (DO) dalam air. Berdasarkan (Strecker et al., 2011) menyatakan bahwa sampel lingkungan yang kaya akan senyawa organik dapat dengan cepat mengembangkan kondisi hipoksia akibat DO yang rendah. Kondisi hipoksia terjadi saat kadar oksigen terlarut dalam air sangat rendah sehingga ikan kesulitan bernafas dan memenuhi kebutuhan energinya melalui respirasi. Selain itu, hipoksia memicu stress oksidatif karena produksi zat radikal bebas meningkat, sehingga memaksa tubuh menaikkan pertahanan antioksidan (Z. Wang et al., 2023).

Ammonia adalah senyawa yang sangat beracun bagi ikan karena mudah menembus insang dalam bentuk ammonia tidak terionisasi dan masuk ke sirkulasi tubuh menggantikan ion penting seperti kalium yang dapat menyebabkan kejang, kerusakan saraf, dan kematian. Kadar ammonia yang tinggi dapat mengganggu proses ekskresi ammonia oleh ikan bahkan bisa terjadi kondisi dimana ikan justru menyerap lebih banyak ammonia sehingga menumpuk dalam tubuh dan menyebabkan kerusakan organ, gangguan pernapasan, serta gangguan pada system saraf pusat (Randall & Tsui, 2002). Nilai LC50 untuk ammonia pada ikan serendah 1-2 mg/L (da Silva et al., 2021)

Tingginya kadar deterjen dalam air dapat memberikan efek berbahaya pada embrio ikan zebra. Studi menunjukkan bahwa paparan terhadap surfaktan dapat memperlambat perkembangan embrio, menyebabkan ukuran kepala, mata, dan tubuh menjadi lebih kecil, serta menunda proses epiboli (gerakan sel awal perkembangan) (Y. Wang et al., 2015). Deterjen dalam konsentrasi tinggi dapat mengganggu perkembangan embrio zebra normal, mengurangi fungsi jantung, memicu stress seluler dan dapat menyebabkan kematian. Menurut (Yuliani et al.,

n.d.), limbah deterjen dari industri laundry juga menyebabkan penurunan oksigen terlarut yang signifikan, sehingga proses pernapasan ikan terganggu dan dapat berujung pada kematian. Kematian tersebut bisa disebabkan oleh terganggunya fungsi organ vital akibat kekurangan oksigen, atau karena tubuh ikan tidak mampu menoleransi racun dari senyawa deterjen.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pemaparan influen dan efluen air limbah IPAL Komunal Manden menyebabkan abnormalitas pada embrio ikan zebra yang ditandai dengan adanya pertumbuhan somit yang tidak lurus, edema perikardium, edema kantung kuning telur, dan malformasi pada ekor. Nilai LC_{50} yang diperoleh dari influen air limbah IPAL Komunal sebesar 30,2%, sedangkan nilai LC_{50} yang diperoleh dari efluen air limbah IPAL Komunal sebesar 65,6%. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua sampel uji bersifat toksik pada embrio ikan zebra. Namun, influen air limbah IPAL Komunal lebih toksik dibandingkan dengan efluen air limbah IPAL Komunal.
2. Hasil pengujian parameter kimia seperti TSS, BOD, Deterjen dan Total Coliform masih melebihi baku mutu yang ditetapkan. Parameter kimia lainnya seperti suhu, pH, TDS, COD, Ammonia, serta Minyak dan Lemak telah memenuhi baku mutu yang berlaku.
3. Hasil keterkaitan antara karakteristik air limbah dengan tingkat toksisitas menunjukkan hubungan yang kuat dimana parameter BOD, COD, TSS, ammonia, deterjen, dan total coliform berperan meningkatkan toksisitas, yang tercermin dari respon biologis pada ikan zebra berupa kematian, malformasi dan gangguan perkembangan.

5.2 Saran

Saran yang dapat mendukung penelitian ini kedepannya yaitu diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat melakukan pengamatan abnormalitas perkembangan embrio yang lain. Diharapkan memperbanyak penelitian terkait FET menggunakan embrio ikan zebra untuk mengetahui apakah embrio ikan zebra sensitif terhadap air limbah domestik. Diharapkan pada penelitian selanjutnya bisa melakukan penyaringan sampel uji terutama untuk air limbah domestik karena tingginya padatan tersuspensi di dalam airnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdollahzadeh Sharghi, E., & Davarpanah, L. (2022). Optimization of chemical coagulation–flocculation process of detergent manufacturing plant wastewater treatment for full scale applications: a case study. *Desalination and Water Treatment*, 262, 38–53. <https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28494>
- Ade Rahma Yulis, P., & Sari, Y. (2021). The Utilization of Kepok Banana Peel (*Musa Acuminata* × *Balbisiana*) As Filtration Media To Increase Water Quality (Water Clarity, pH Value, and TDS). In *Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia* (Vol. 4, Issue 2).
- Ahmad, A., & Yelmida dan I. P. Friska. (2011). Penyisihan Minyak dan Lemak yang terkandung dalam Limbah Cair Industri Minyak Sawit dengan Biorekator Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*.
- Barkhordari, A., Hassan, J., Koohi, M. K., Rahmati-Holasoo, H., & Pourshaban-Shahrestani, A. (2024). Toxic Effects of Tributyltin, Triphenyltin, and SnCl_2 on the Development of Zebrafish (*Danio rerio*) Embryos. *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 4(5). <https://doi.org/10.1002/aff2.70005>
- Braunbeck, T., & Lammer, E. (2006). *FISH EMBRYO TOXICITY ASSAYS*.
- da Silva, P. R., Mounteer, A. H., dos Anjos Benjamin, L., de Almeida, E. R., Vitorino, F. B., Arcanjo, G. S., & Rodrigues dos Santos Petersen, V. (2021). Evaluation of toxicity and estrogenicity in UASB - Treated municipal sewage. *Chemosphere*, 268, 128778. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128778>
- Effendi, H. (2003). *TELAAH KUALITAS AIR bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Perairan* (V. Paska, Ed.). PT KANISIUS.
- Fachrurrozi, M., Listiatie, B., Utami, D., Suryani, F., Kesehatan, M., Universitas, A., & Dahlan, Y. (2010). *PENGARUH VARIASI BIOMASSA Pistia stratiotes L. TERHADAP PENURUNAN KADAR BOD, COD, DAN TSS LIMBAH CAIR TAHU DI DUSUN KLERO SLEMAN YOGYAKARTA*.
- Faradila, R., Huboyo, H. S., & Syakur, A. (2023). Rekayasa Pengolahan Air Limbah Domestik Dengan Metode Kombinasi Filtrasi Untuk Menurunkan Tingkat Polutan Air. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 22(3), 342–350. <https://doi.org/10.14710/jkli.22.3.342-350>
- Fatikasari, R. N., Tarzan, D., Program, P., Biologi, S., Biologi, J., Matematika, F., Ilmu, D., & Alam, P. (2022). Efektivitas *Hydrilla verticillata* dan *Lemna minor* sebagai Fitoremediator LAS pada Deterjen Limbah Domestik Effectiveness of *Hydrilla verticillata* and *Lemna minor* as Phytoremediator LAS in Domestic Waste Detergent. 11(2), 263–272. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index263>
- Hill, A. J., Teraoka, H., Heideman, W., & Peterson, R. (2005). Zebrafish As A Model Vertebrata for Investigating Chemical Toxicity. *Toxicol. Sci*, 86(1), 6–19.
- Imtiyas, J., & Rachmadiarti, F. (2019). Kemampuan Tapak Dara Air (*Ludwigia adscendens*) sebagai Agen Fitoremediasi LAS Detergen. *LenteraBio*, 9(1), 51–57.

- John, B. (2025). *Evaluation of Chemical Oxygen Demand (COD) and Biological Oxygen Demand (BOD) in Ahmedabad's Urban Water Supply: Implications for Water Quality Management*.
<https://www.researchgate.net/publication/389214655>
- Kumar, S., & Chadha, P. (2025). Sublethal effects of diphenyl ether on zebrafish embryo: Developmental, morphological, cardiac and neurotoxic implications. *Toxicology Letters*, 410, 169–176.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2025.06.011>
- Lestari, D. S. (2020). EVALUASI KINERJA INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK (STUDI KASUS: IPAL DOMESTIK WADUK "X", JAKARTA). *JURNAL SUMBER DAYA AIR*, 16(2), 91–102.
<https://doi.org/10.32679/jsda.v16i2.653>
- Lin, H., Lin, F., Yuan, J., Cui, F., & Chen, J. (2021). Toxic effects and potential mechanisms of Fluxapyroxad to zebrafish (*Danio rerio*) embryos. *Science of The Total Environment*, 769, 144519.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144519>
- Lu, F. C. (1995). *Asas, Organ Sasaran, dan Penilaian Resiko (Terjemahan)* (II). VI. Press.
- Maulani, D. I., & Widodo, E. (2016). Analisis Pengaruh BOD, TSS dan Minyak Lemak terhadap COD dengan Pendekatan Regresi Linear Berganda PT. X di Tangerang. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Matematika*.
- Metcalf, & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse*. McGraw-Hill. Inc.
- Mohammadzadeh, N., Sharifi, S., Fraga, B., Davies, P., & Roussel, J. (2025). Modelling of hydrodynamic characteristics in anaerobic baffled reactors: A systematic review. *Journal of Water Process Engineering*, 70, 106916.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106916>
- Mukono, H. J. (2005). *Toksikologi Lingkungan*. Airlangga University Press.
- Muthmainnah, M., & Agus Mulyono. (2022). Pengaruh Wadah Penyimpanan terhadap Dissolved Oxygen (DO) dan Total Dissolved Solids (TDS) Air. *JURNAL PENDIDIKAN MIPA*, 12(4), 999–1003.
<https://doi.org/10.37630/jpm.v12i4.726>
- Nutayla, N. (2006). *PENURUNAN KADAR ESCHERICHIA COLI DAN TOTAL DISSOLVED SOLID (TDS) PADA LIMBAH DOMESTIK DENGAN MENGGUNAKAN MEMBRAN KERAMIK*. Universitas Islam Indonesia.
- OECD. (2013). *OECD GUIDELINES FOR THE TESTING OF CHEMICALS 236-Fish Embryo Acute Toxicity (FET) Test*.
<https://www.researchgate.net/publication/255968359>
- Qasim, S. R. (1999). *Wastewater Treatment Plants Planning, Design, and Operation*.
- Randall, D. J., & Tsui, T. K. N. (2002). Ammonia toxicity in fish. *Marine Pollution Bulletin*, 45(1), 17–23. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(02\)00227-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0025-326X(02)00227-8)
- Soemirat, J. (2003). *Toksikologi Lingkungan*. Gadjah Mada University Press.
- Strecker, R., Seiler, T. B., Hollert, H., & Braunbeck, T. (2011). Oxygen requirements of zebrafish (*Danio rerio*) embryos in embryo toxicity tests with environmental samples. *Comparative Biochemistry and Physiology - C*

- Toxicology and Pharmacology*, 153(3), 318–327.
<https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2010.12.002>
- Sudifanto, A. (1993). *Uji Tingkat Biodegradability Deterjen Study Penaruh Waktu Detensi dan Umum Lumpur terhadap Pengolahan Air Buangan yang Mengandung Deterjen dengan Activated Sludge*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Teame, T., Zhang, Z., Ran, C., Zhang, H., Yang, Y., Ding, Q., Xie, M., Gao, C., Ye, Y., Duan, M., & Zhaou, Z. (2019). The Use of Zebrafish (*Danio rerio*) as biomedical models. *Anim. Front*, 9(3), 68–77.
- Tinggi, B., Jurnal, :, Masyarakat, P., Febrianty Sianipar, H., Sijabat, A., Voni, C., Sinaga, R., Sinaga, P., Sianturi, T., Olfan, W., & Barat, B. (2022). *Penyuluhan Dampak Bakteri Coliform Fecal bagi Kehidupan Biota Air bagi Warga Simalungun*. 4(4), 1428–1433. <https://doi.org/10.20527/btjpm.v4i4.6550>
- Wang, Y., Zhang, Y., Li, X., Sun, M., Wei, Z., Wang, Y., Gao, A., Chen, D., Zhao, X., & Feng, X. (2015). Exploring the effects of different types of surfactants on zebrafish embryos and larvae. *Scientific Reports*, 5. <https://doi.org/10.1038/srep10107>
- Wang, Z., Pu, D., Zheng, J., Li, P., Lü, H., Wei, X., Li, M., Li, D., & Gao, L. (2023). Hypoxia-induced physiological responses in fish: From organism to tissue to molecular levels. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 267, 115609. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115609>
- Winarsih, E., & La Ode Alirman A. (2016). Distribusi Total Suspended Solid Permukaan di Perairan Teluk Kendari. *Jurnal Sapa Laut/Jurnal Ilmu Kelautan*, 1(2), 54–59.
- Yuliani, R. L., Purwanti, E., & Pantiwati, Y. (n.d.). *Pengaruh Limbah Detergen Industri Laundry terhadap Mortalitas dan Indeks Fisiologi Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) Effect of Waste Laundry Detergent Industry Against Mortality and Physiology Index of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*)*.

LAMPIRAN

Lampiran 1 *Ethical Clearance*



FAKULTAS
KEDOKTERAN

Gedung Dr. Soekiman Wirjosandjojo
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext. 2096, 2097
F. (0274) 898459 ext 2007
E. fk@uii.ac.id
W. fk.uii.ac.id

Nomor : 14/Ka.Kom.Et/70/KE/II/2025

KETERANGAN LOLOS KAJI ETIK ETHICAL APPROVAL

Komite Etik Penelitian Kedokteran dan Kesehatan Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia dalam upaya melindungi hak asasi dan kesejahteraan subyek penelitian kedokteran dan kesehatan, telah mengkaji dengan teliti protokol berjudul :

The Ethics Committee of the Faculty of Medicine, Islamic University of Indonesia, with regards of the protection of human rights and welfare in medical and health research, has carefully reviewed the research protocol entitled :

"Uji Toksisitas Air Limbah dengan Menggunakan Metode *Fish Embryo Toxicity* (FET)"

Peneliti Utama : Any Juliani
Principal Investigator

Nama Institusi : Program Studi Teknik Lingkungan FTSP UII
Name of the Institution

dan telah menyetujui protokol tersebut diatas.
and approved the above-mentioned protocol.



Yogyakarta, 20 Februari 2025
Ketua
Chairman
dr. Riana Rahmawati, M.Kes, Ph.D

**Ethical Approval* berlaku satu tahun dari tanggal persetujuan

***Peneliti berkewajiban*

1. Menjaga kerahasiaan identitas subyek penelitian
2. Memberitahukan status penelitian apabila :
 - a. Setelah masa berlakunya keterangan lolos kaji etik, penelitian masih belum selesai, dalam hal ini *ethical clearance* harus diperpanjang
 - b. Penelitian berhenti di tengah jalan
3. Melaporkan kejadian serius yang tidak diinginkan (*serious adverse events*)
4. Peneliti tidak boleh melakukan tindakan apapun pada subyek sebelum penelitian lolos kaji etik dan *Informed consent*

Lampiran 2 Data Pengamatan *Negatif Control*

Kelompok	No	Parameter Pengamatan															
		Koagulasi				Pembentukan Somit				Pelepasan tail-bud dari yol				Detak Jantung			
		2 4	4 8	7 2	9 6	2 4	4 8	7 2	9 6	2 4	4 8	7 2	9 6	2 4	4 8	7 2	9 6
Negatif Control	1					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	2					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	3					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	4					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	5					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	6					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	7					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	8					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	9					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	10					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	11					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	12					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	13					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	14					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	15					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	16					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	17					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	18					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	19					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	20					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	21	+	+	+	+												
	22	+	+	+	+												
	23	+	+	+	+												
	24					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	+

Lampiran 3 Data Pengamatan Negatif Positif

Kelompok	No	Parameter Pengamatan															
		Koagulasi				Pembentukan Somit				Pelepasan tail-bud dari yol				Detak Jantung			
		24	48	72	96	24	48	72	96	24	48	72	96	24	48	72	96
Negatif Control	1	+	+	+	+												
	2	+	+	+	+												
	3		+	+	+												
	4																
	5	+	+	+	+												
	6					+	+	+	+	+	+	+	+				
	7	+	+	+	+												
	8					+	+	+	+	+	+	+	+		+	+	
	9			+	+	+											
	10					+	+	+	+	+	+	+	+				
	11	+	+	+	+												
	12					+	+	+	+	+	+	+	+		+		
	13					+	+	+	+	+	+	+	+				
	14					+	+	+	+	+	+	+	+				
	15	+	+	+	+												
	16				+	+	+	+		+	+	+					
	17					+	+	+	+	+	+	+	+				
	18	+	+	+	+												
	19					+	+	+	+	+	+	+	+				
	20					+	+	+	+	+	+	+	+				
	21	+	+	+	+												
	22	+	+	+	+		+			+							
	23						+	+	+	+	+	+	+		+	+	+
	24						+	+	+	+	+	+	+		+	+	+

Lampiran 4 Data Pengamatan Influen IPAL Komunal

Konsentrasi	Total Embrio	Koagulasi				Pembentukan Somit				Pelepasan Tail-bud dari Yolk				Detak Jantung				Kematian			
		Jam ke-				Jam ke-				Jam ke-				Jam ke-				Jam ke-			
		24	48	72	96	24	48	72	96	24	48	72	96	24	48	72	96	24	48	72	96
3,1%	20	7	7	7	7	13	13	13	13	13	13	13	13	0	13	13	13	7	7	7	7
6,25%	20	3	3	3	3	17	17	17	17	17	17	17	17	0	11	17	17	3	3	3	3
12,5%	20	4	4	4	4	16	16	16	16	16	16	16	16	0	9	16	16	4	4	4	4
25%	20	3	3	3	3	17	17	17	17	17	17	17	17	0	13	17	17	3	3	3	3
50%	20	1	1	1	1	19	19	19	19	19	19	19	19	0	16	19	19	1	1	1	1
100%	20	3	3	3	3	17	17	4	2	16	17	4	2	0	11	4	2	3	3	16	18

Lampiran 5 Data Pengamatan Efluen IPAL Komunal

Konsentrasi	Total Embrio	Koagulasi				Pembentukan Somit				Pelepasan Tail-bud dari Yolk				Detak Jantung				Kematian			
		Jam ke-				Jam ke-				Jam ke-				Jam ke-				Jam ke-			
		24	48	72	96	24	48	72	96	24	48	72	96	24	48	72	96	24	48	72	96
3,1%	20	2	2	2	2	18	18	18	18	18	18	18	18	0	18	18	18	2	2	2	2
6,25%	20	2	2	2	2	18	18	18	18	18	18	18	18	0	18	18	18	2	2	2	2
12,5%	20	0	0	0	0	20	20	20	20	20	20	20	20	0	20	20	20	0	0	0	0
25%	20	0	0	0	0	19	18	18	18	19	18	18	18	0	18	18	18	1	2	2	2
50%	20	3	3	3	3	17	17	17	17	17	17	17	17	0	17	17	17	3	3	3	3
100%	20	17	20	20	20	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	17	20	20	20

Lampiran 6 Perhitungan Nilai LC50

Kode	Konsentrasi (X)	Jumlah hewan uji	Jumlah Organisme Mati	Proporsi Kematian (P _i)	Rata-rata proporsi kematian (P _{s i})	Penyesuaian rata-rata proporsi kematian (P _{a i})	Log10 (X)	m	m total	Estimasi variansi (V(m))	Estimasi variansi (V(m)) total
P0	Kontrol	20	2	0,10	0,100	0,000			1,47958800 2		0,00154955
P1	3,10%	20	7	0,35	0,180	0,089	0,491361694				
P2	6,25%	20	3	0,15	0,180	0,089	0,795880017	0,000000000		0,000390753	
P3	12,50%	20	4	0,20	0,180	0,089	1,096910013	0,000000000		0,000386264	
P4	25%	20	3	0,15	0,180	0,089	1,397940009	0,000000000		0,000386264	
P5	50%	20	1	0,05	0,180	0,089	1,698970004	0,000000000		0,000386264	
P6	100%	20	18	0,90	0,900	0,889	2	1,47958800			

Proporsi jumlah kematian $P_i = \frac{\text{Jumlah organisme mati}}{\text{Jumlah hewan uji}}$

Jika $P_0 \leq P_i \leq \dots \leq P_k$ maka penyelesaiannya adalah dengan merata-ratakan nilai menggunakan rumus:

$$P_{i-1}^S = \frac{(P_i + P_{i+1})}{2}$$

Dimana P_i^S = penyesuaian (smooth-s) proporsi kematian pada konsentrasi i

Contoh pada kasus ini, P_1 tidak lebih kecil dari P_2 , tidak lebih kecil dari P_3 tidak lebih kecil dari P_4 tidak lebih kecil dari P_5 dan diketahui bahwa proporsi kematian pada P1, P2, P3, P4, dan P5 adalah 0,35, 0,15, 0,20, 0,15, dan 0,5 maka:

$$P_i^S = P_2^S = P_3^S = P_4^S = P_5^S = \frac{(0,35+0,15+0,20+0,15+0,5)}{2} = 0,180$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung penyesuaian rata-rata proporsi kematian pada konsentrasi i, menggunakan rumus:

$$P_i^a = \frac{(P_i^S - P_0^S)}{1 - P_0^S}$$

Dimana:

P_i^S = rata-rata proporsi kematian pada konsentrasi i

P_0^S = rata-rata proporsi kematian pada kontrol

P_i^a = penyesuaian rata-rata proporsi kematian pada konsentrasi i

Sehingga contoh perhitungan penyesuaian rata-rata pada P_i^a adalah sebagai berikut:

$$P_1^a = \frac{(0,180 - 0,100)}{1 - 0,100} = 0,089$$

Menghitung log10 dari estimasi kematian untuk LC50, menggunakan rumus:

$$m = \frac{(P_{i+1}^a - P_i^a)(X_i + X_{i+1})}{2}$$

Dimana:

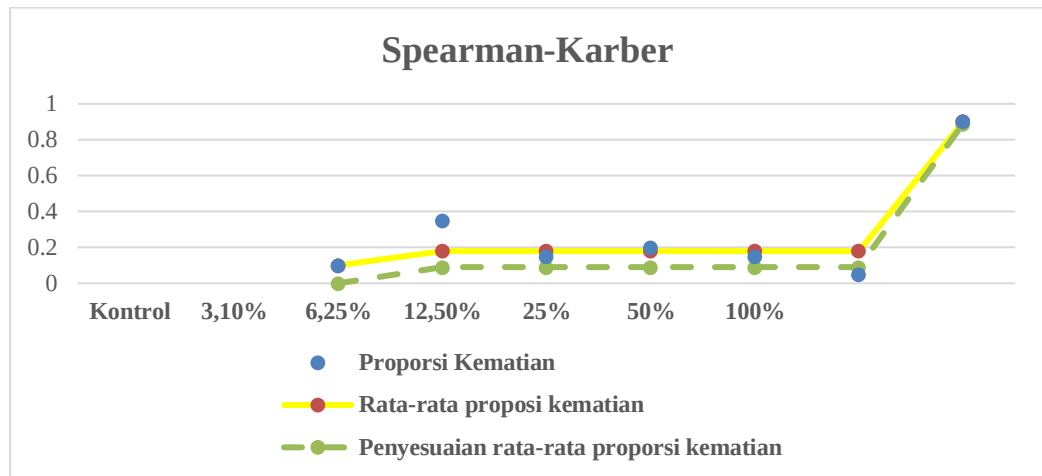
X_i = LOG 10 konsentrasi (misalnya log 100)

Maka perhitungan m pada P2 adalah sebagai berikut:

$$m = \frac{(P_{i+1}^a - P_i^a)(X_i + X_{i+1})}{2} = m = \frac{(0,089 - 0,089)(0,491 + 0,795)}{2} = 0,000$$

Perhitungan dilakukan hingga P6, sehingga diperoleh nilai m yaitu 1,479.

Berikut adalah grafik perbandingan proporsi kematian pada data rill, setelah dilakukan rata-rata dan penyesuaian rata-rata



Selanjutnya menghitung estimasi variace dengan persamaan:

$$V(m) = \frac{P_{i+1}^a(1-P_{i+1}^a)(X_{i+1}-X_i-1)}{5(n_i-1)}$$

Dimana:

N_i = jumlah hewan uji

Maka perhitungan $V(m)$ pada P2 yaitu:

$$V(m) = \frac{0,089(1-0,089)(1,096-0,491-1)}{5(20-1)} = 0,00039$$

Perhitungan dilakukan hingga P7, sehingga didapatkan jumlah $V(m)$ yaitu 0,0015.

Selanjutnya, tingkat kepercayaan 95% untuk varians dihitung menggunakan rumus:

$$m \pm 2\sqrt{V(m)} = 1,566 \pm 2\sqrt{0,0015}$$

Sehingga diperoleh nilai LC50 sebagai berikut:

Keterangan	LC50	Tua
Batas Bawah	25,2	4,0
Batas Tengah	30,2	3,3
Batas Atas	36,2	2,8

Lampiran 7 Perhitungan Nilai LC50

Kode	Konsentrasi (X)	Jumlah hewan uji	Jumlah Organisme Mati	Proporsi Kematian (P _i)	Rata-rata proporsi kematian (P _{s i})	Penyesuaian rata-rata proporsi kematian (Pa _i)	Log10 (X)	m	m total	Estimasi variance (V(m))	Estimasi variance (V(m)) total
P0	Kontrol	20	2	0,10	0,075	0,000			1,816941219		0,00048077
P1	3,10%	20	2	0,10	0,075	0,000	0,491361694				
P2	6,25%	20	2	0,10	0,075	0,000	0,795880017	0,000000000		0	
P3	12,50%	20	0	0,00	0,075	0,000	1,096910013	0,000000000		0	
P4	25%	20	2	0,10	0,100	0,027	1,397940009	0,03371419		0,000125419	
P5	50%	20	3	0,15	0,150	0,081	1,698970004	0,08370027		0,000355355	
P6	100%	20	20	1,00	1,000	1,000	2	1,69952676			

Proporsi jumlah kematian $P_i = \frac{\text{Jumlah organisme mati}}{\text{Jumlah hewan uji}}$

Jika $P_0 \leq P_i \leq \dots \leq P_k$ maka penyelesaiannya adalah dengan merata-ratakan nilai menggunakan rumus:

$$P_{i-1}^S = \frac{(P_i + P_{i+1})}{2}$$

Dimana P_i^S = penyesuaian (smooth-s) proporsi kematian pada konsentrasi i

Contoh pada kasus ini, P_1 tidak lebih kecil dari P_2 , tidak lebih kecil dari P_3 lebih besar dari 4 dan diketahui bahwa proporsi kematian pada P1, P2, dan P3, adalah 0,10, 0,10, 0,10 maka:

$$P_i^S = P_2^S = P_3^S = \frac{(0,10+0,10+0,10+0,00)}{2} = 0,075$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung penyesuaian rata-rata proporsi kematian pada konsentrasi i, menggunakan rumus:

$$P_i^a = \frac{(P_i^S - P_0^S)}{1 - P_0^S}$$

Dimana:

P_i^S = rata-rata proporsi kematian pada konsentrasi i

P_0^S = rata-rata proporsi kematian pada kontrol

P_i^a = penyesuaian rata-rata proporsi kematian pada konsentrasi i

Sehingga contoh perhitungan penyesuaian rata-rata pada P_i^a adalah sebagai berikut:

$$P_1^a = \frac{(0,175 - 0,075)}{1 - 0,075} = 0,000$$

Menghitung log10 dari estimasi kematian untuk LC50, menggunakan rumus:

$$m = \frac{(P_{i+1}^a - P_i^a)(X_i + X_{i+1})}{2}$$

Dimana:

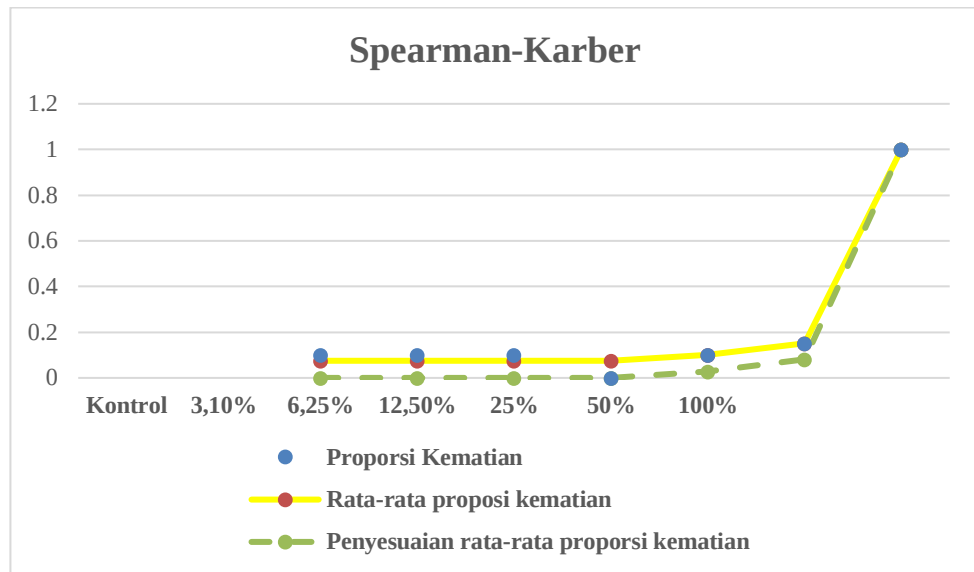
X_i = LOG 10 konsentrasi (misalnya log 100)

Maka perhitungan m pada P2 adalah sebagai berikut:

$$m = \frac{(P_{i+1}^a - P_i^a)(X_i + X_{i+1})}{2} = m = \frac{(0,000 - 0,000)(0,795 + 0,491)}{2} = 0,000$$

Perhitungan dilakukan hingga P6, sehingga diperoleh nilai m yaitu 1,816.

Berikut adalah grafik perbandingan proporsi kematian pada data rill, setelah dilakukan rata-rata dan penyesuaian rata-rata:



Selanjutnya menghitung estimasi variace dengan persamaan:

$$V(m) = \frac{P_{i+1}^a(1-P_{i+1}^a)(X_{i+1}-X_i-1)}{5(n_i-1)}$$

Dimana:

Ni = jumlah hewan uji

Maka perhitungan V(m) pada P2 yaitu:

$$V(m) = \frac{0,000(1-0,000)(1,096-0,491-1)}{5(20-1)} = 0,000$$

Perhitungan dilakukan hingga P7, sehingga didapatkan jumlah V(m) yaitu 0,00048.

Selanjutnya, tingkat kepercayaan 95% untuk varians dihitung menggunakan rumus:

$$m \pm 2\sqrt{V(m)} = 1,816 \pm 2\sqrt{0,000}$$

Sehingga diperoleh nilai LC50 sebagai berikut:

Keterangan	LC50	Tua
Batas Bawah	59,3	1,7
Batas Tengah	65,6	1,5
Batas Atas	72,6	1,4

Lampiran 8 Hasil Uji Parameter Kimia



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA





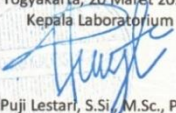
 AL 036.476.03.25

HASIL PENGUJIAN

No.	Parameter	Satuan	HASIL UJI AL022	Metode Uji
A. Parameter Fisik				
1	Total suspended solids (TSS)	mg/L	456 ± 13,0	SNI 6989.3:2019
2	Residu Terlarut (TDS)	mg/L	336 ± 13,1	SNI 6989.27:2019
B. Parameter Kimiawi				
3	BOD	mg/L	4125 ± 151	SNI 6989.72-2009
4	Ammonia (NH ₃ -N)	mg/L	6,27 ± 0,14	SNI 6989.30-2005
C. Parameter Organik				
5	Minyak Lemak	mg/L	6,05 ± 0,39	SNI 6989.10-2011
6	Deterjen	mg/L	5,71 ± 0,23	SNI 06-6989.51-2009
D. Parameter Biologi				
7	Total Coliform	MPN/100mL	160000 (91859-278689)	SM Ed. 23, 9221, 2017



Yogyakarta, 20 Maret 2025
Kepala Laboratorium



(Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.)

VALUES | INNOVATION | PERFECTION

www.environment.uii.ac.id
Email: envirolab@uii.ac.id
Telp. (0274) 896440 ext.: 3223; HP. 0812.2274.2234

Hal. 2 dari 4



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



KAN
Komite Akreditasi Nasional
LP-476-10N



AL.035.476.03.25

HASIL PENGUJIAN

No.	Parameter	Satuan	HASIL UJI	Metode Uji
			AL.023	
A. Parameter Fisik				
1	Total suspended solids (TSS)	mg/L	208 ± 5,95	SNI 6989.3:2019
2	Residu Terlarut (TDS)	mg/L	404 ± 15,7	SNI 6989.27:2019
B. Parameter Kimiawi				
3	BOD	mg/L	250 ± 9,16	SNI 6989.72-2009
4	Ammonia (NH ₃ -N)	mg/L	6,05 ± 0,14	SNI 6989.30-2005
C. Parameter Organik				
5	Minyak Lemak	mg/L	5,78 ± 0,37	SNI 6989.10-2011
6	Deterjen	mg/L	5,54 ± 0,23	SNI 06-6989.51-2009
D. Parameter Biologi				
7	Total Coliform	MPN/100mL	35000 (22860-53588)	SM Ed. 23, 9221, 2017



Yogyakarta, 20 Maret 2025
Kepala Laboratorium

(Puji Lestari, S.Sr., M.Sc., Ph.D.)

Hal. 4 dari 4

VALUES | INNOVATION | PERFECTION



www.environment.uii.ac.id



Email: envirolab@uii.ac.id



Telp. (0274) 896440 ext. 3223; HP. 0812 2274 2234



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



KAN
Komite Akreditasi Nasional
LP-426-IDN



AL.060.476.04.23

HASIL PENGUJIAN

No.	Kode Sampel	Keterangan Sampel	Parameter	Satuan	HASIL UJI	Metode Uji
1	AL.059	Influent	COD	mg/L	332 ± 19,0	SNI 6989.2-2019
2	AL.060	Effluent	COD	mg/L	190 ± 18,7	SNI 6989.2-2019



Yogyakarta, 29 April 2025
Kepala Laboratorium

(Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.)

Hal. 2 dari 2

VALUES | INNOVATION | PERFECTION



www.environment.uii.ac.id



Email: envirolab@uii.ac.id



Telp. (0274) 896440 ext: 3223; HP: 0812 2274 2234

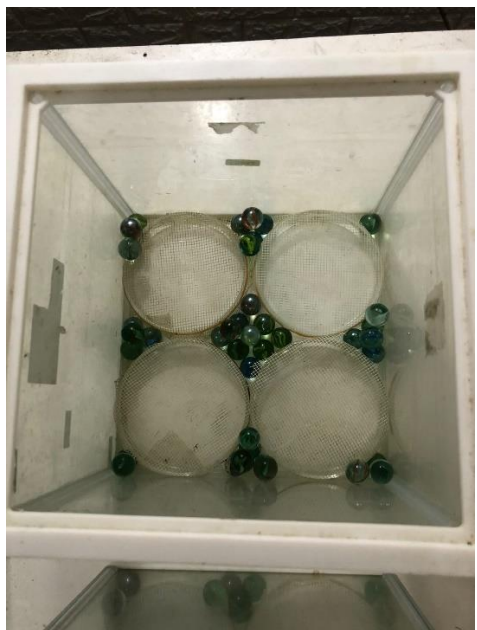
Lampiran 9 Dokumentasi Penelitian



IPAL Komunal Manden



Sampling limbah



Persiapan breeding



Persiapan breeding



Persiapan pengkondisian



Proses pengamatan



Sterilisasi alat

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Tika Puspita Sari, lahir pada 19 Desember 2002, di Lampung Tengah. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara dari pasangan Edi Sutiono dan Ibu Siti Fatimah. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SDN 03 Piansak (2009-2015), lalu Sekolah Menengah Pertama di SMP Negeri 01 Sungai Melayu Rayak (2015-2018), dan Sekolah Menengah Atas di SMA Pangudi Luhur Santo Yohanes Ketapang (2018-2021). Kemudian penulis melanjutkan studi jenjang S1 di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia (2021-2025).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif melibatkan diri pada beberapa kegiatan di jurusan. Kegiatan tersebut seperti menjadi anggota divisi kesekretariatan pada Kegiatan Olahraga Jurusan Tahun 2022, anggota divisi Dana Usaha pada kegiatan Malam Keakraban Jurusan pada Tahun 2022, dan mengikuti kegiatan Volunteer dari jurusan.