

**KONDISI HISTOPATOLOGI HATI IKAN ZEBRA (*Brachydanio rerio*)  
YANG DIPAPAR LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT  
PADA KONSENTRASI AKUT**

**SKRIPSI**

**Diajukan Oleh:**

**AL MUNAWARAH  
NIM. 170703033  
Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi  
Program Studi Biologi**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY  
DARUSSALAM-BANDA ACEH  
2022 M / 1443H**

**KONDISI HISTOPATOLOGI HATI IKAN ZEBRA  
(*Brachydanio rerio*) YANG DIPAPAR LIMBAH CAIR KELAPA  
SAWIT PADA KONSENTRASI AKUT**

**SKRIPSI**

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh  
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana (S1)  
Dalam Ilmu/Prodi Biologi

Oleh:  
**AL MUNAWARAH**  
NIM. 170703033  
**Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi**  
**Program Studi Biologi**

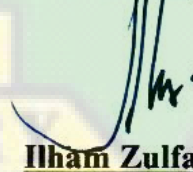
Disetujui Untuk Dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing I,



**Arif Sardi, M.Si**  
NIDN. 2019068601

Pembimbing II,



**Ilham Zulfahmi, M.Si**  
NIDN. 1316078801

Mengetahui,  
**Ketua Program Studi Biologi**



**Arif Sardi, M.Si**  
NIDN. 2019068601

**KONDISI HISTOPATOLOGI HATI IKAN ZEBRA (*Brachydanio rerio*)  
YANG DIPAPAR LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT PADA  
KONSENTRASI AKUT**

**SKRIPSI**

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi  
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan Dinyatakan Lulus  
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S1)  
Dalam Prodi Biologi

Pada Hari/Tanggal : Jumat, 15 Juli 2022  
16 Zulhijjah 1443 H  
Tempat : Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi :

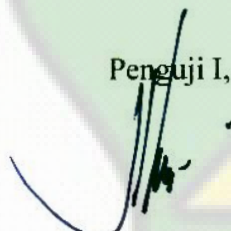
Ketua,

  
**Arif Sardi, M. Si**  
NIDN. 2019068601


Sekretaris,

  
**Diannita Hārahap, M. Si**  
NIDN. 2022038701


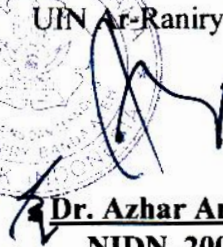
Penguji I,

  
**Ilham Zulfahmi, M. Si**  
NIDN. 1316078801

Penguji II,

  
**Ayu Nirmala Sari, M. Si**  
NIDN. 2027028901

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Ar-Raniry Banda Aceh,

  
  
**Dr. Azhar Amsal, M. Pd**  
NIDN. 2001066802

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Al Munawarah  
NIM : 170703033  
Program Studi : Biologi  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul Skripsi : Kondisi Histopatologi Hati Ikan Zebra (*Brachydanio rerio*) yang Dipapar Limbah Cair Kelapa Sawit Pada Konsentrasi Akut

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan tugas akhir/skripsi ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggungjawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggungjawab atas karya ini.

Bila dikemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh, 29 Juni 2022

Yang menyatakan



10000  
MERAH  
TEMPEL  
EE47EAIX820709162

Al Munawarah

## ABSTRAK

Nama : Al Munawarah  
NIM : 170703033  
Program Studi : Biologi  
Judul : Kondisi histopatologi hati ikan zebra (*Brachydanio rerio*) yang dipapar limbah cair kelapa sawit pada Konsentrasi Akut  
Tanggal Sidang : 15 Juli 2022  
Jumlah Halaman : 69 Halaman  
Pembimbing I : Arif Sardi, M.Si  
Pembimbing II : Ilham Zulfahmi, M.Si  
Kata Kunci : *Limbah Cair, Kelapa Sawit, Pertumbuhan, Histopatologi, Ikan Zebra*

Proses pengolahan kelapa sawit terus mengalami peningkatan menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar setiap tahunnya. Limbah cair kelapa sawit mengandung COD, BOD, TSS, unsur hara makro, dan logam berat dalam jumlah besar. Limbah cair kelapa sawit dilaporkan telah memberikan efek negatif terhadap histologi dan fisiologi ikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh limbah cair kelapa sawit pada LC<sub>50</sub>-96 jam terhadap pertumbuhan dan histopatologi hati ikan zebra (*Brachydanio rerio*). Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif. Parameter limbah yang diukur diantaranya COD, BOD, TS, TSS, pH, dan logam berat (Fe, Pb, Zn, Cu, dan Cd). Pertumbuhan ikan yang diamati meliputi panjang mutlak, berat mutlak, *specific long rate*, dan *specific growth rate*. Pertumbuhan antar perlakuan ditentukan dengan menggunakan uji independent sample (t-test independent). Tingkat kerusakan histologi hati serta perubahan tingkah laku dianalisis secara semi kuantitatif mengacu pada Mishra *et al.*, (2008) yaitu tidak ada kerusakan dan perubahan (-, 0%), ringan (+, < 25%), sedang (++, 25 sampai 50%), berat (+++, > 50%). Konsentrasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu 5,156 mL/L. Pengaruh limbah cair kelapa sawit terhadap panjang ikan zebra berpengaruh signifikan pada perlakuan kontrol dan konsentrasi akut pada jam ke 48, 72 dan 96, sedangkan terhadap bobot ikan berpengaruh signifikan pada jam ke 96 perlakuan kontrol. Histologi hati Ikan Zebra akibat paparan limbah cair kelapa sawit terdapat berbagai kerusakan antara lain kongesti, hemoragi, hipertropi, *shrinkage of hepatocyte*, degenerasi hidrofilik, dan nekrosis. Pengamatan histologi hati selama penelitian menunjukkan kerusakan pada tingkat ringan sampai berat, kecuali *shrinkage of hepatocyte* yang berada pada tingkat sedang pada akhir pengamatan.

## ABSTRACT

Name : Al Munawarah  
NIM : 170703033  
Major : Biology  
Titel : Histopathological Conditions of Liver of Zebra Fish  
(*Brachydanio rerio*) Exposed to Palm Oil Effluent at  
Acute Concentrations  
Date of Session : 15<sup>th</sup> July 2022  
Number of page : 69 pages  
Advisor I : Arif Sardi, M.Si  
Advisor II : Ilham Zulfahmi, M.Si  
Keywords : liquid waste, palm oil, growth, Pertumbuhan,  
Histopatology, zebrafish

*The processing of palm oil continues to increase, producing large amounts of liquid waste every year. Palm oil wastewater contains large amounts of COD, BOD, TSS, macronutrients and heavy metals. Palm oil effluent has been reported to have a negative effect on the histology and physiology of fish. This study aims to determine the effect of palm oil wastewater at LC50-96 hours on the growth and histopathology of zebrafish (*Brachydanio rerio*) liver. This study uses a quantitative experimental method. The waste parameters measured included COD, BOD, TS, TSS, pH, and heavy metals (Fe, Pb, Zn, Cu, and Cd). The observed fish growth included absolute length, absolute weight, specific long rate, and specific growth rate. Growth between treatments was determined using an independent sample test (independent t-test). The level of liver histological damage and changes in behavior were analyzed semi-quantitativ referring to Mishra et al., (2008) ie there was no damage and change (-, 0%) , mild (+, <25%), moderate (++, 25 to 50%), severe (+++, > 50%). The concentration used in this study was 5.156 mL/L. Effect of palm oil wastewater on zebrafish length had a significant effect on the control treatment and acute concentration at 48, 72 and 96 hours, while the weight of the fish had a significant effect on the control treatment at 96 hours. Histology of zebrafish liver due to exposure to palm oil liquid waste there were various damages including congestion, hemorrhage, hypertrophy, shrinkage of hepatocyte, hydrophilic degeneration and necrosis. Histological observation of the liver during the study showed mild to severe damage, except for the shrinkage of hepatocyte which was at a moderate level at the end of the observation.*

## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dan petunjuk-Nya dalam menyelesaikan proposal penelitian dengan judul “**Kondisi Histopatologi Hati Ikan Zebra (*Brachydanio rerio*) yang Dipapar Limbah Cair Kelapa Sawit pada Konsentrasi Akut**” Shalawat dan salam penulis tujukan kepada Nabi Muhammad SAW yang mencintai umatnya tanpa memilih dan persyaratan

Terimakasih penulis ucapkan yang setulus-tulusnya kepada kedua orang tua tercinta Ayahanda tercinta Syahrul Syah dan Ibunda tercinta Afrizah berkat keridhaan serta doa keduanya juga kasih sayang, perhatian moril maupun materil penulis bisa sampai pada titik ini. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat, kesehatan, karunia dan keberkahan di dunia dan di akhirat atas budi baik yang diberikan kepada penulis.

Selama penyusunan proposal penelitian ini, penulis mendapatkan banyak bimbingan, pengarahan dan saran dari berbagai pihak baik itu dari pihak kampus maupun keluarga, dan teman-teman sekalian. Oleh sebab itu penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang setinggi-tingginya kepada:

1. Dr. Azhar Amsal, M. Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
2. Bapak Arif Sardi, M.Si selaku Ketua Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry dan Pembimbing Akademik yang telah membimbing, memberi ilmu, saran, nasehat, motivasi kerja serta dukungan kepada penulis.
3. Ibu Kamaliah, M.Si selaku Sekretaris Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry.
4. Bapak Ilham Zulfahmi, M.Si selaku Dosen Pembimbing telah membimbing, memberi ilmu, saran, nasehat, motivasi kerja serta dukungan kepada penulis.
5. Seluruh Dosen Prodi Biologi Ibu Ayu Nirmala Sari, M.Si, Ibu Syafrina Sari Lubis, M.Si, ibu Diannita Harahap, M.Si, Ibu Feizia Huslina, M.Sc, Bapak Arif Sardi, M.Si, Bapak Ilham Zulfahmi, M.Si, Ibu Raudhah Hayatillah, M.Si, Seluruh Dosen, Staf dan Asisten Laboratorium Program

Studi Biologi yang telah mengajarkan saya ilmu pengetahuan dan pengalaman selama ini.

6. Kepada Pemerintah Kabupaten Aceh Selatan dan Baitulmal Aceh yang telah memberikan dukungan berupa dana pendidikan kepada penulis.
7. Kepada teman-teman Said Dedi Suherman, Cicin Sintaria Utami, Nurma Yuliza, Riski Nazarni, Safira Herlisa, Nilda Savitra, dan Ridha Nurestika yang telah membantu dan memberi semangat kepada penulis.
8. Seluruh teman-teman seperjuangan selama kuliah di Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Angkatan 2017 yang tidak mungkin penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan bantuan berupa kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan dan mutu penulisan proposal ini.

Akhir kata, hanya kepada Allah SWT penulis mohon ampun, semoga selalu diberikan hidayah dan ridha-Nya kepada penulis dan kita semua. Penulis berharap agar proposal ini dapat bermanfaat bagi pembaca sekaligus demi menambah pengetahuan. Semoga segala bantuan dan dukungan dari semua pihak yang membantu mendapatkan balasan dari Allah SWT.

Banda Aceh, 29 Juni 2022

Penulis,

Al Munawarah



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	3
I.3 Tujuan Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
II.1 Kelapa Sawit .....	5
II.1.1 Sejarah.....	5
II.1.2 Klasifikasi dan Morfologi.....	6
II.1.3 Limbah .....	7
II.2 Uji Toksisitas Akut .....	10
II.3 Ikan Zebra .....	11
II.3.1 Klasifikasi dan Morfologi .....	11
II.3.2 Siklus Hidup.....	12
II.3.3 Habitat dan Pakan .....	13
II.4 Histopatologi.....	13
II.4.1 Kongesti .....	14
II.4.2 Hemorgi .....	14
II.4.3 Hipertropi.....	15
II.4.4 Degenerasi Hidrofilik.....	15
II.4.5 Penciutan hepatosit .....	16
II.4.6 Nekrosis .....	16
II.5 Logam Berat.....	16
II.5.1 Merkuri (Hg).....	17
II.5.2 Kadmium (Cd) .....	17
II.5.3 Timbal (Pb) .....	18
II.5.4 Tembaga (Cu) .....	18
II.5.5 Besi (Fe).....	19
II.5.6 Magnesium (Mg) .....	20
II.5.6 Seng (Zn) .....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
III.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	22
III.2 Objek Penelitian .....	23

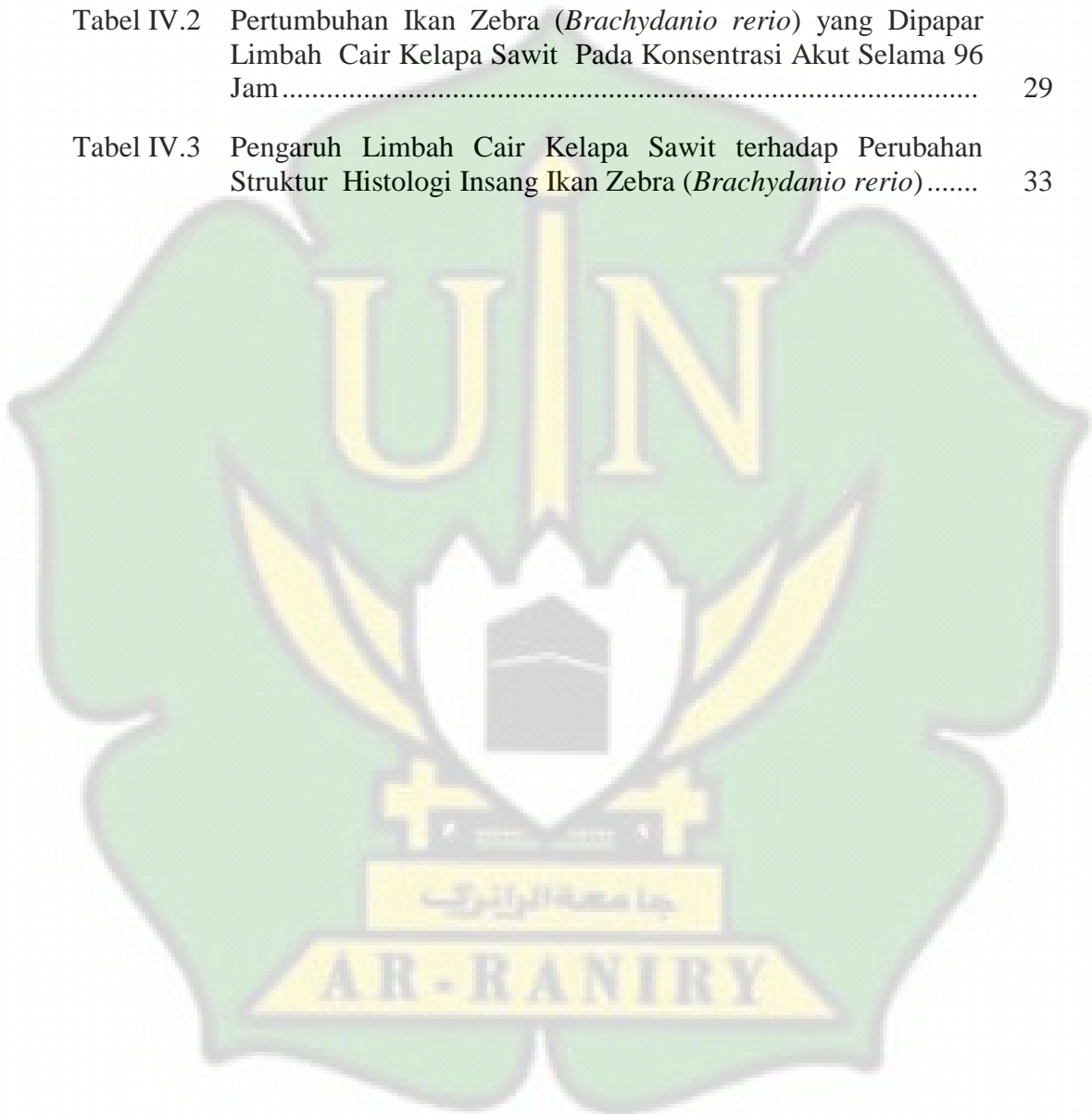
III.3 Koleksi Limbah Cair Kelapa Sawit .....	23
III.4 Alat dan Bahan .....	23
III.5 Metode Penelitian .....	23
III.6 Prosedur Kerja .....	23
III.6.1 Parameter .....	23
III.6.2 Analisis kandungan logam.....	24
III.6.3 Uji LC <sub>-50</sub> 96 jam .....	24
III.6.4 Pertumbuhan ikan .....	25
III.6.5 Preparasi histopatologi hati .....	26
III.7 Analisis Data.....	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>28</b>
IV.1 Hasil Penelitian.....	28
IV.1.1 Karakteristik Limbah Cair Kelapa Sawit .....	28
IV.1.2 Pertumbuhan Ikan .....	29
IV.1.3 Histopatologi .....	31
IV.2 Pembahasan .....	33
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>37</b>
V.1 Kesimpulan .....	37
V.2 Saran .....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>38</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>52</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>53</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Tumbuhan Kelapa Sawit .....	6
Gambar II.2	Ikan Zebra.....	11
Gambar II.3	Siklus Hidup Ikan Zebra.....	12
Gambar II.4	Histologi Hati .....	14
Gambar III.1	Panjang Total.....	25
Gambar IV.1	Grafik Panjang Ikan Zebra Selama Uji LC <sub>50</sub> 96 Jam .....	30
Gambar IV.2	Grafik Berat Ikan Zebra Selama Uji LC <sub>50</sub> 96 Jam .....	31
Gambar IV.3	Histologi Hati pada Perlakuan Kontrol .....	32
Gambar IV.4	Perubahan Histologi Hati Ikan Zebra Setelah Paparan Akut Limbah Cair Kelapa Sawit .....	32

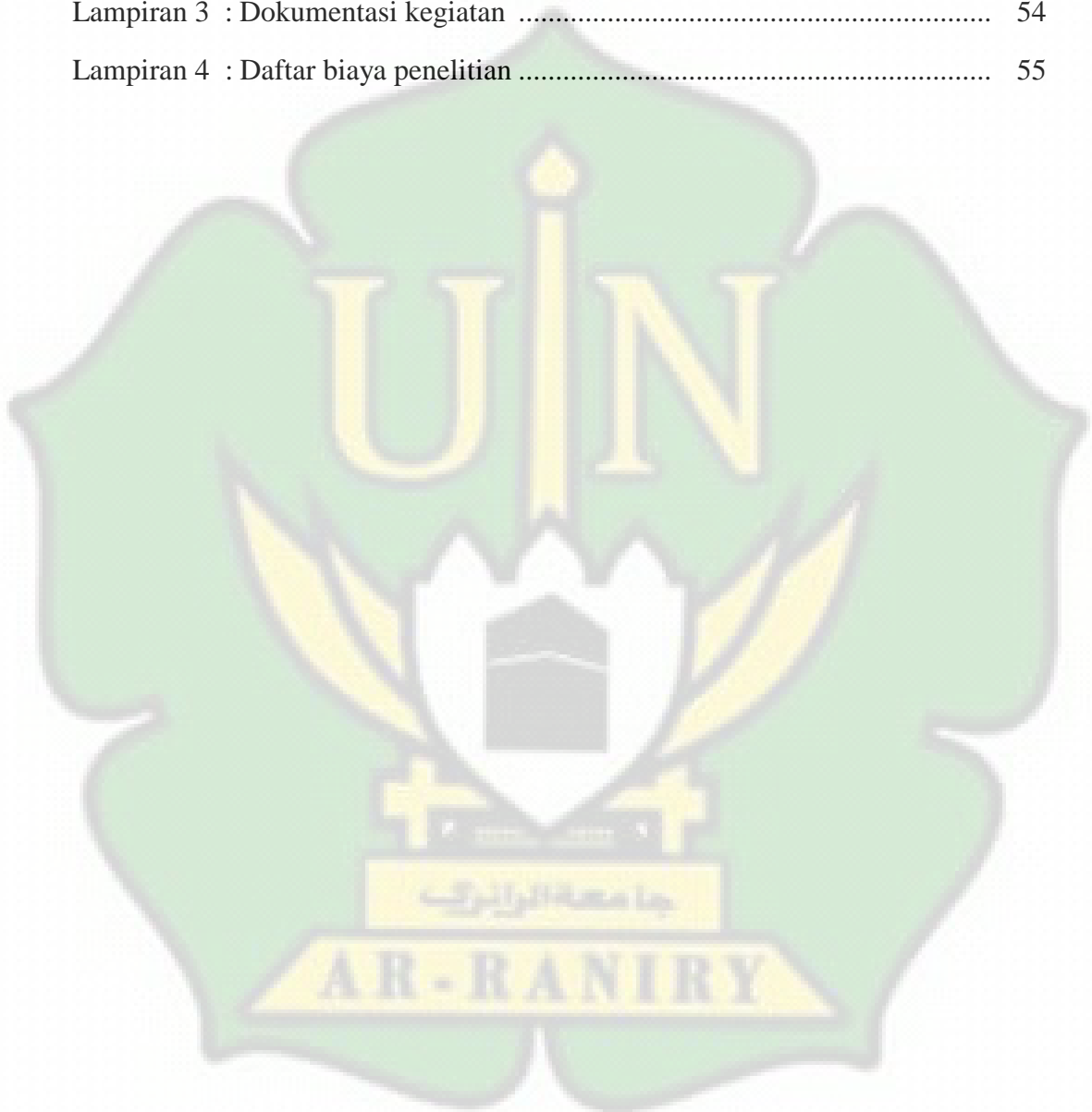
## DAFTAR TABEL

Tabel III.1	Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	22
Tabel IV.1	Karakteristik Fisika-Kimia Limbah Cair Kelapa Sawit dan Batas Baku Mutu .....	28
Tabel IV.2	Pertumbuhan Ikan Zebra ( <i>Brachydanio rerio</i> ) yang Dipapar Limbah Cair Kelapa Sawit Pada Konsentrasi Akut Selama 96 Jam.....	29
Tabel IV.3	Pengaruh Limbah Cair Kelapa Sawit terhadap Perubahan Struktur Histologi Insang Ikan Zebra ( <i>Brachydanio rerio</i> ).....	33



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Surat keterangan pembimbing skripsi .....	52
Lampiran 2 : Surat Penelitian.....	53
Lampiran 3 : Dokumentasi kegiatan .....	54
Lampiran 4 : Daftar biaya penelitian .....	55



# BAB I

## PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang

Pabrik kelapa sawit (PKS) selama sepuluh tahun terakhir ini berkembang pesat di Indonesia. Lahan-lahan perkebunan non kelapa sawit sebagian besar beralih atau diubah menjadi perkebunan kelapa sawit secara berangsur-angsur (Kasnawati, 2011). Pada tahun 2010 luas areal terdiri dari 8.500.000 ha, tahun 2014 meningkat hingga 10,75 juta ha dan tahun 2015 mencapai 11,30 juta ha. Sebagian besar kelapa sawit berdasarkan status pengusahaannya pada tahun 2015 diusahakan oleh perkebunan besar swasta sebesar 5,98 juta ha (52,88%), sementara perkebunan rakyat mengusahakan 4,58 juta ha (40,49%), dan perkebunan besar negara hanya mengusahakan 0,75 juta ha (6,63%) (Badan Pusat Statistik, 2015).

Seiring dengan perkembangan luas areal, perkembangan produksi minyak kelapa sawit ikut mengalami peningkatan dari tahun 2010 sampai 2015 meningkat sekitar 5,39% sampai dengan 8,42% per tahun. pada tahun 2010 produksi minyak kelapa sawit sebesar 22,50 juta ton, meningkat menjadi 29,28 juta ton pada tahun 2014 atau terjadi peningkatan 30,14%. Tahun 2015 produksi minyak kelapa sawit meningkat menjadi 31,28 juta ton atau sebesar 6,85% (BPS, 2015). Proses pengolahan kelapa sawit akan menghasilkan limbah padat dan limbah cair. Limbah yang dihasilkan oleh pengolahan pabrik kelapa sawit dari satu ton tandan buah segar (TBS) akan dihasilkan limbah cair sebanyak 583 Kg, limbah padat yang dihasilkan berupa cangkang sebanyak 64 Kg dan tandan kosong kelapa sawit (TKSS) sebanyak 210 Kg (bpdp, 2018).

Karakteristik limbah cair kelapa sawit terdiri dari *biological oxygen demand* (BOD) sebanyak 5544 mg/L, *chemical oxygen demand* (COD) sebanyak 3940 mg/L, *total suspended solid* (TSS) sebanyak 20932 mg/L dan pH 8,72 (Elystyia *et al.*, 2014; Osman *et al.*, 2020). Standar baku mutu dari limbah cair kelapa sawit berdasarkan Keputusan Menteri Negara dan Lingkungan Hidup yaitu kadar BOD<sub>5</sub> sebanyak 50 mg/L, COD sebanyak 200 mg/L, TSS sebanyak 200 mg/L, dan pH 6,0-9,0 (Atima, 2015). Limbah cair kelapa sawit juga mengandung

logam yang terdiri atas aluminium (Al), arsen (As), kadmium (Cd), kobalt (Co), kromium (Cr), nickel (Ni), dan timbal (Pb) (Osman *et al.*, 2020). Berbagai macam karakteristik yang dimiliki limbah cair kelapa sawit dianggap memiliki dampak terhadap perairan yang menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati dan kemampuan ekosistem perairan (Soleimaninanadegani dan Marshad, 2014).

Dampak paparan limbah cair kelapa sawit dapat mempengaruhi organisme perairan salah satunya yaitu ikan. Ikan memiliki reaksi terhadap perubahan senyawa pencemar yang larut di dalam air pada batas konsentrasi tertentu (Husni & Esmiralda, 2012). Diantara pengaruh limbah cair kelapa sawit tersebut antara lain yaitu mempengaruhi denyut jantung ikan, namun tidak berpengaruh nyata pada panjang larva ikan (Mathan *et al.*, 2010), rusaknya organ pernafasan seperti insang, terjadinya perubahan warna pada tubuh ikan (Yosmaniar *et al.*, 2009), perlambatan pergerakan ikan, peningkatan pergerakan operkulum, pergerakan tanpa arah, ekskresi lendir yang berlebihan pada permukaan kulit (Zulfahmi *et al.*, 2017), menurunkan indeks kematangan gonad, dan rusaknya hati (Zulfahmi *et al.*, 2018). Menurut Loomis (1978) hati sangat sensitif terhadap bahan kimia sehingga mudah terkena efek toksik, bersamaan dengan darah terdapat berbagai zat masuk ke dalam hati yang memungkinkan adanya zat yang dapat menginduksi kerusakan hati. Hepatoprankeas yang terpapar polutan terlihat adanya kongesti dan hemoragi atau pendarahan (Darmono, 1995). Selain itu, ditemukan degenerasi hidrofilik, peradangan dan terjadinya kematian pada sel hati (Zulfahmi *et al.*, 2017). Oleh karena itu, untuk melihat dampak paparan limbah cair kelapa sawit dapat dilakukan dengan uji toksisitas.

Uji toksisitas merupakan suatu pengujian secara hayati yang digunakan untuk ditentukannya tingkat toksisitas atas suatu zat atau bahan pencemar disertai pemantauan rutin (Zulfahmi *et al.*, 2017). Uji toksisitas bertujuan untuk menetapkan jumlah konsentrasi minimal suatu toksikan yang mengakibatkan kematian (toksisitas akut) dan kecacatan terhadap organ serta jaringan suatu organisme (toksisitas kronis) Zulfami *et al.*, (2014).

Toksisitas akut limbah cair kelapa sawit diidentifikasi dengan cara diteliti dengan digunakan hewan uji berupa ikan (Husni, 2012). Salah satu ikan yang sering digunakan adalah ikan zebra (Berghmans *et al.*, 2015). Ikan zebra

digunakan dalam penelitian uji toksisitas akut karena terbukti adanya korelasi dengan uji toksisitas pada *Mamalia* (Rubinstein, 2006). Yang *et al.*, (2018) menyatakan bahwa pemanfaatan ikan zebra diyakini memiliki tingkat keakuratan yang tinggi, mudah dalam pengerjaan, lebih cepat dan murah. Martinez-Sales *et al.*, (2015) menambahkan keuntungan lainnya yaitu ikan zebra memiliki tingkat kemiripan DNA yang tinggi dan efek toksik dengan manusia, dapat dimanfaatkan sebagai bioindikator karena sensitif terhadap toksikan. Perubahan histopatologi menjadi salah satu aspek penting yang bisa dikaji dalam uji toksisitas akut ikan zebra untuk melihat efek merugikan dari toksikan, perubahan-perubahan histopatologi tersebut terdapat pada berbagai macam organ, diantaranya hati, otak, insang, dan usus. Biasanya, studi histopatologi dilakukan pada ikan yang menunjukkan kematian (Xafier dan Redy, 2019).

Selain ikan zebra, beberapa ikan yang sudah pernah digunakan dalam uji toksisitas akut limbah cair kelapa sawit antara lain ikan patin (*Pangasius sp.*) dengan konsentrasi limbah yaitu 13,18 mL.L<sup>-1</sup>, 13,89 mL.L<sup>-1</sup>, 14,63 mL.L<sup>-1</sup>, 15,4 mL.L<sup>-1</sup>, 16,21 mL.L<sup>-1</sup>, dan 17,06 mL.L<sup>-1</sup> (Amalia, 2013), ikan bandeng (*Chanos chanos Froskall 1755*) dengan konsentrasi limbah yaitu 4,517 mg/L, 6,801 mg/L, 10,239 mg/L dan 15,414 mg/L, dan ikan nila (*Oreochromis niloticus Linneus 1758*) dengan konsentrasi limbah yaitu 6,915 mg/L, 9,563 mg/L, 13,225 mg/L dan 18,289 mg/L (Zulfahmi *et al.*, 2017). Selain ikan konsumsi, uji toksisitas akut limbah cair kelapa sawit juga pernah dilakukan terhadap ikan hias. Ikan hias yang pernah digunakan yaitu ikan sumatera (*Puntius tetrazona*) dengan konsentrasi limbah yaitu 6,6 mL/L, 13,3 mL/L, 20 mL/L, 26,6 mL/L dan 33,3 mL/L.

Berdasarkan uraian diatas penulis tertarik melakukan penelitian dengan judul **“Kondisi Histopatologi Hati Ikan Zebra (*Brachydanio rerio*) yang Dipapar Limbah Cair Kelapa Sawit pada Konsentrasi Akut”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana dampak paparan limbah cair kelapa sawit terhadap pertumbuhan *Brachydanio rerio* ?

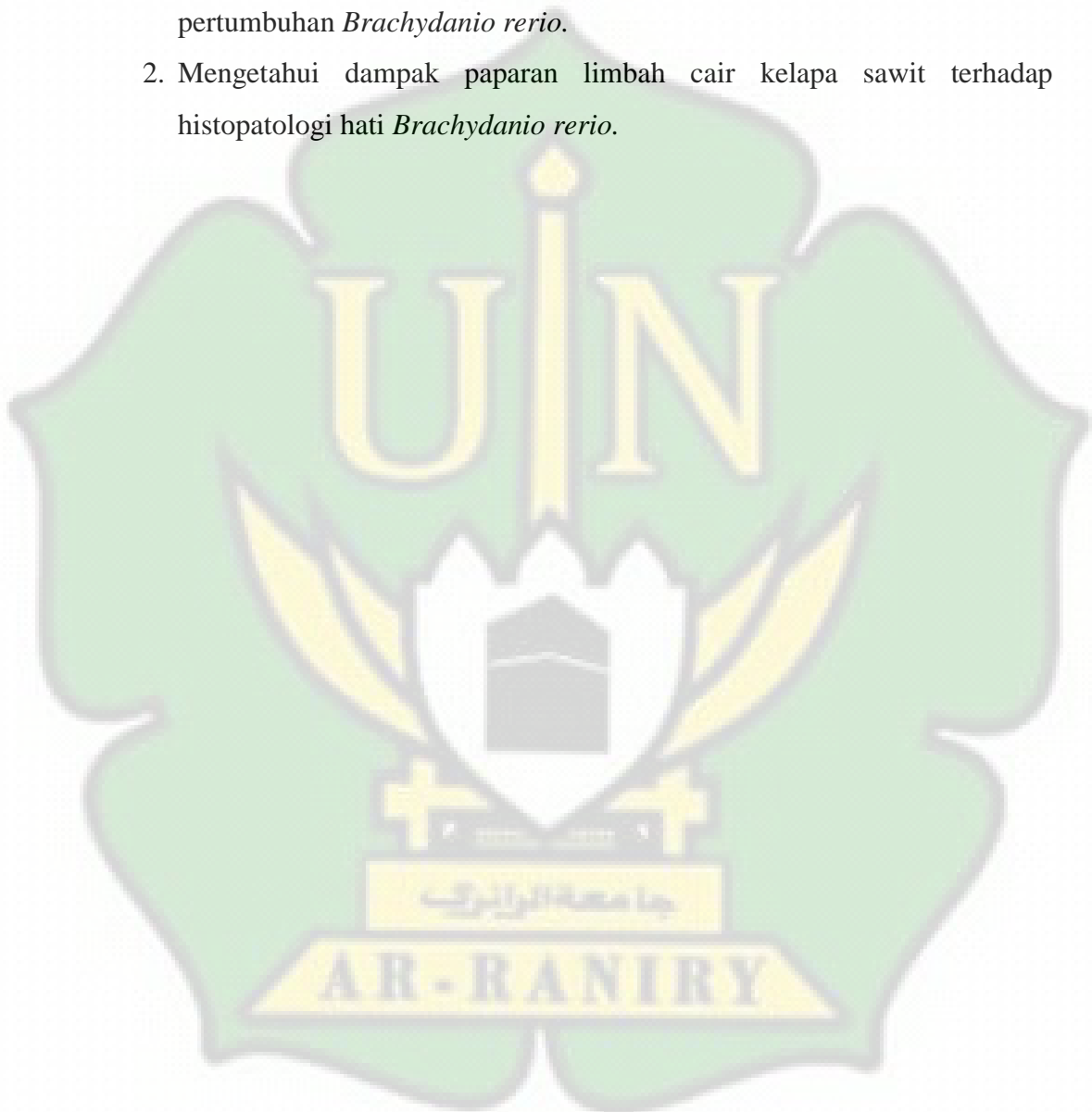


2. Bagaimana dampak paparan limbah cair kelapa sawit terhadap histopatologi hati *Brachydanio rerio*?

### 1.3 Tujuan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian adalah:

1. Mengetahui dampak paparan limbah cair kelapa sawit terhadap pertumbuhan *Brachydanio rerio*.
2. Mengetahui dampak paparan limbah cair kelapa sawit terhadap histopatologi hati *Brachydanio rerio*.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Kelapa Sawit**

##### **II.1.1 Sejarah**

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis jacq.*) berasal dari Benua Afrika. Tanaman ini banyak dijumpai di hutan hujan tropis Negara Liberia, Ghana, Kamerun, Togo, Kongo, Sierra Leone, dan Angola. Di daerah tersebut kelapa sawit digunakan untuk memasak dan kecantikan. Selain itu, kelapa sawit juga diolah menjadi minyak nabati, dengan warna dan rasa minyak yang bervariasi. Minyak kelapa sawit mengandung karotenoid yang cukup tinggi, memiliki komponen utama yaitu asam lemak jenuh palmitat. Minyak kelapa sawit menjadi bahan baku penting dalam olahan makanan tradisional Afrika Barat. Buah sawit pada abad ke-14 hingga ke-17 dibawa dari Afrika ke Amerika, hingga penyebarannya mencapai Amerika bagian timur. Penyebaran kelapa sawit terus berkembang ke seluruh dunia hingga pada tahun 1848 mulai dikenalkan di Indonesia oleh Pemerintah Belanda (Rustam dan Agus, 2011).

Masa pendudukan belanda perkembangan kelapa sawit mengalami peningkatan yang pesat, bahkan dalam ekspor tertinggi dapat melengser posisi Afrika pada masanya. Perkembangan kelapa sawit pada masa pendudukan Jepang mengalami penurunan dan produksi perkebunan kelapa sawit berhenti secara keseluruhan. Pemerintah Indonesia pada tahun 1957 untuk menjaga keamanan mengambil alih lahan perkebunan. Keadaan berubah ketika memasuki pemerintahan Orde Baru. Pemerintah terus berupaya meningkatkan pembukaan lahan perkebunan kelapa sawit sehingga meningkat secara cepat khususnya milik rakyat. Sehingga tahun 1980 luas lahan dan produksi minyak mencapai 294.560 ha dan 721.172 ton (Fauzi, 2012).

## II.1.2 Klasifikasi dan Morfologi

Menurut *Natural Resources Conservation Service* (2021) klasifikasi kelapa sawit antara lain:

- Kingdom : *Plantae*
- Divisi : *Magnoliophyta*
- Kelas : *Monocotyledone*
- Ordo : *Arecales*
- Famili : *Arecaceae*
- Genus : *Elaeis*
- Spesies : *Elaeis guineensis jacq* (NRSC, 2021)



Gambar II.1 Kelapa sawit (Lubis *et al.*, 2011)

Kelapa sawit memiliki batang dengan tinggi mencapai 20 meter (66 kaki), memiliki banyak bunga kecil yang berdesakan di cabang pendek yang berkembang menjadi kelompok besar buah oval dengan panjang 4 cm (1,6 inci). Saat matang buahnya berwarna hitam dengan dasar merah yang memiliki satu biji yang dikenal sebagai kernel. Kandungan minyak yang dihasilkan daging buah dan biji yang secara kimiawi sangat berbeda (Britannica, 2020).

Bagian tanaman kelapa sawit terdiri atas akar, batang, daun, bunga, buah dan biji, dengan ciri-ciri antara lain akar serabut yang pada awal perkecambahan akar pertama muncul dari radikula. Batang kelapa sawit lurus, tumbuh melawan gravitasi, dan bisa membelok apabila tanaman tumbang, serta dalam beberapa kondisi dapat bercabang. Daun kelapa sawit terdiri atas kumpulan anak daun (*leaflet*), tangkai daun (*rachis*) dan pelepah. Bunga kelapa sawit baik jantan dan

betina terletak dalam satu pohon, terdiri atas bunga majemuk yang tersusun atas *spikelet* dalam *infloresen* berbentuk spiral. Buah kelapa sawit tergolong dalam buah *drupe* yang tersusun atas *pericarp* (daging buah), *exocarp* (kulit), *mesocarp* dan *endocarp* (cangkang). Biji kelapa sawit memiliki bobot dan ukuran yang tidak sama pada setiap jenis, memiliki waktu dorman dan perkecambahan dapat berlangsung enam bulan dengan tingkat keberhasilan 50% (Lubis, 2003).

### II.1.3 Limbah

Kelapa sawit memiliki limbah yang bersifat cair dan padat. Kedua limbah berasal dari pengolahan tandan buah segar (TBS) dan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) yang mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin. Limbah lainnya adalah *Wet Decanter Solid* yaitu bahan padatan berbentuk seperti lumpur dan mengandung air, protein kasar dan lemak kasar (Haryanti *et al.*, 2014). Beberapa karakteristik yang dimiliki oleh limbah cair kelapa sawit antara lain:

#### 1. *Biological Oxygen Demand (BOD)*

*Biological oxygen demand* (BOD) merupakan kadar oksigen yang diperlukan guna menghilangkan bahan organik limbah pada suatu perairan dalam proses penguraian yang dilakukan oleh bakteri aerob. Bahan organik limbah distabilkan melalui penguraian oleh bakteri yang membutuhkan oksigen untuk melakukan tugasnya. Biasanya, BOD sering digunakan sebagai indeks tingkat polusi di pabrik pengolahan air limbah (USGS, 2020).

BOD merupakan kebutuhan oksigen biologis yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk memecah bahan organik secara aerobik (Santoso, 2018). Proses dekomposisi bahan organik ini diartikan bahwa mikroorganisme memperoleh energi dari proses oksidasi dan memakan bahan organik yang terdapat di perairan. Mengetahui nilai BOD di perairan dapat bermanfaat untuk mendapatkan informasi berkaitan tentang jumlah beban pencemaran yang terdapat di perairan akibat air buangan penduduk atau industry, dan untuk merancang sistem pengolahan biologis di perairan yang tercemar tersebut (Pour *et al.*, 2014).

## 2. *Chemical Oxygen Demand (COD)*

*Chemical Oxygen Demand (COD)* digunakan sebagai penduga total jumlah bahan organik yang ada dalam air atau perairan. Bahan organik tersebut ada yang sulit diurai dan ada yang mudah diurai. Membandingkan nilai COD dan BOD dapat mengetahui gambaran kadar bahan organik sulit terurai (persisten) yang terkandung di dalam air (Atima, 2015). Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat organik yang secara alamiah yang dapat dioksidasi melalui proses biologis dan berdampak negatif sehingga mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air. Nilai konsentrasi COD pada umumnya lebih besar dari BOD (Sugito, 2017).

COD merupakan jumlah oksigen dalam mg/L yang digunakan untuk menguraikan bahan organik di dalam air secara kimiawi (Pratiwi *et al.*, 2012). Semakin tinggi COD, maka semakin rendah kandungan oksigen terlarut dalam air. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengurangi kadar COD adalah dengan pengolahan limbah cair secara fisika dengan metode adsorpsi. Proses adsorpsi dapat terjadi jika ada peristiwa kontak antara padatan dan molekul molekul cair atau gas. Pada saat terjadi kontak, ada gaya tarik-menarik molekul pada permukaan padatan yang tidak stabil (Tandy dan Harahap, 2012).

## 3. *Dissolved Oxygen (DO)*

*Dissolved oxygen (DO)* atau oksigen terlarut di perairan dibutuhkan oleh semua organisme terutama ikan. Menurunnya kadar oksigen terlarut akan sangat membahayakan kehidupan akuatik dalam perairan (Manalu, 2012). Keberadaan oksigen terlarut di estuari dipengaruhi oleh tekanan atmosfer, suhu, salinitas, turbulensi air, aktivitas fotosintesis, respirasi dan limbah yang masuk ke badan air (Paramitha *et al.*, 2014). Penyebab utama berkurangnya DO di suatu perairan adalah masuknya bahan buangan organik. Pada kehidupan ikan yang aman sebaiknya kadar oksigen terlarut berada diatas titik kritis (Sugianti, 2018).

Oksigen memegang peranan penting sebagai indikator kualitas perairan, karena oksigen terlarut berperan dalam proses oksidasi dan reduksi bahan organik dan anorganik. Selain itu, oksigen juga menentukan klan biologis yang dilakukan oleh organisme aerobik atau anaerobik. Dalam kondisi aerobik, peranan oksigen adalah untuk mengoksidasi bahan organik dan anorganik dengan hasil akhirnya adalah nutrisi yang pada akhirnya dapat memberikan kesuburan perairan. Dalam kondisi anaerob, oksigen yang dihasilkan akan mereduksi senyawa-senyawa kimia menjadi lebih sederhana dalam bentuk nutrisi dan gas. Karena proses oksidasi dan reduksi inilah maka peranan oksigen terlarut sangat penting untuk membantu mengurangi beban pencemaran pada perairan secara alami maupun secara perlakuan aerobik yang ditujukan untuk memurnikan air buangan industri dan rumah tangga (Salmin, 2005).

#### 4. *Power of Hydrogen* (pH)

*Power of hydrogen* (pH) merupakan kadar ion Hidrogen ( $H^+$ ) yang menyatakan tingkat keasaman dan kebasaan dalam air, dan merupakan besaran fisis dari skala 0 sampai 14 (Ngafifuddin, 2017). Nilai pH di dalam perairan dapat dijadikan suatu indikator pencemaran perairan tersebut. Pengurangan nilai pH di dalam perairan bisa ditandai dengan semakin tinggi tingkat senyawa organik pada perairan tersebut. Variasi nilai pH perairan sangat mempengaruhi biota di suatu perairan. Selain itu, tingginya nilai pH sangat menentukan dominasi fitoplankton yang mempengaruhi tingkat produktivitas primer suatu perairan dimana keberadaan fitoplankton didukung oleh ketersediaan nutrisi di perairan laut (Megawati et al., 2014).

Menurut Hatta (2014) menyatakan bahwa beberapa faktor yang mempengaruhi tinggi atau rendahnya nilai pH di perairan, antara lain konsentrasi jumlah gas terlarut seperti  $CO_2$ , garam karbonat dan bikarbonat di perairan, serta proses penguraian bahan organik di dasar perairan. Organisme akuatik menyukai pH mendekati netral (7) yang

dapat mengoptimalkan proses dekomposisi di perairan (Roem et al., 2016).

## II.2 Uji Toksisitas Akut

Pengertian toksisitas menurut KBBI adalah kemampuan yang dimiliki suatu zat yang akan menyebabkan kerusakan pada organisme, misalnya ketidaknyamanan, kesakitan hingga kematian. Selain itu, toksisitas dapat didefinisikan dengan efek yang dimiliki oleh suatu senyawa atau molekul kimia pada makhluk hidup yang mengakibatkan kerusakan pada tubuh bagian dalam atau bagian luar (Tandjung 1995 dalam Muliari *et al.*, 2019). Tujuan dilakukan uji toksisitas yaitu agar dapat ditentukan tingkat atau potensi toksisitas dari bahan atau senyawa pencemar (Zulfahmi *et al.*, 2017).

Toksisitas dibagi dalam dua kelompok yaitu toksisitas akut dan toksisitas kronis. Toksisitas akut merupakan kemampuan suatu bahan yang dapat mengakibatkan kematian pada organisme secara mendadak atau cepat. Toksisitas akut dicirikan pada tingkat konsentrasi zat, baik tinggi maupun rendah yang dapat mematikan individu, serta pengujian toksisitas akut dilakukan dengan menggunakan beberapa konsentrasi toksikan berbeda disertai dengan ulangan minimal sebanyak dua kali dengan jumlah biota pada masing-masing wadah pemaparan diharuskan sama. Sedangkan toksisitas kronis merupakan kemampuan suatu bahan yang dapat mengakibatkan kematian dan gangguan pada fisiologis secara berkala atau dalam jangka waktu yang lama, serta konsentrasi pada toksisitas kronis mengacu pada toksisitas akut dan jumlah biota uji di setiap perlakuan sebaiknya sama. Toksisitas kronis dicirikan pada kemampuan suatu bahan yang dapat merusak jaringan atau organ organisme dalam jangka waktu yang lama (Muliari, 2019).

## II.3 Ikan Zebra

### II.3.1 Klasifikasi dan Morfologi

Menurut ITIS (2021) ikan zebra (*Brachydanio rerio*) diklasifikasikan sebagai berikut:

- Kingdom : *Animalia*
- Divisi : *Chordata*
- Kelas : *Teleostei*
- Ordo : *Cypriniformes*
- Famili : *Cyprinidae*
- Genus : *Brachydanio*
- Spesies : *Brachydanio rerio* (ITIS,2021)



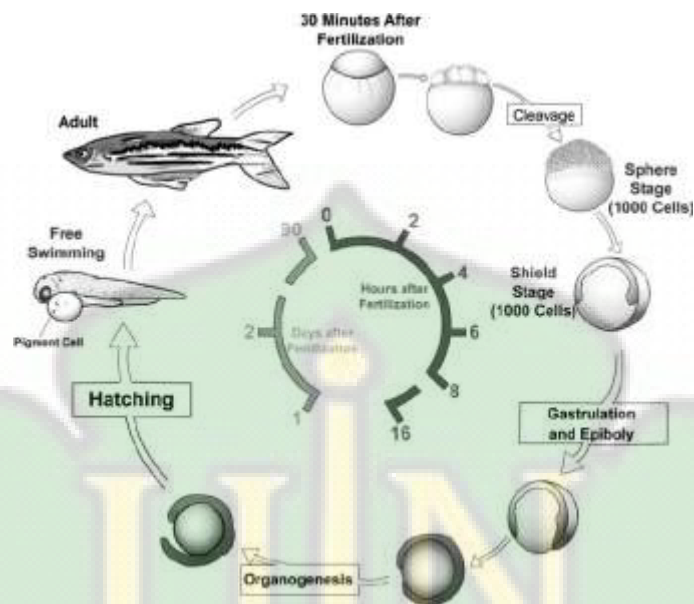
Gambar II.2 Ikan Zebra (Kuncoro, 2018)

Ikan zebra merupakan kelompok ikan dari famili *Cyprinidae* dengan ciri tubuh berukuran kecil, dewasa berukuran 4-5 cm, berbadan silindris, dan pola warna yang berbeda bergantian horizontal terang dan gelap garis-garis (Spence *et al.*, 2008). Konsentrasi amonia atau nitrit yang tinggi menyebabkan kerusakan pada ikan, nitrit diserap melalui insang dan mengganggu kemampuan ikan dalam menyerap oksigen (Reed & Jennings, 2010). Sistem reproduksi ikan zebra berlangsung sepanjang tahun, umur ikan zebra yang sudah siap untuk bereproduksi yaitu sudah mencapai 4-6 bulan.



### II.3.2 Siklus Hidup

Siklus hidup ikan zebra dapat diamati pada gambar di bawah ini:



Gambar II.3 Siklus hidup ikan zebra (D'costa & Shapherd, 2009)

Telur ikan zebra 30 menit setelah pembuahan akan membentuk zigot. Pembuahan diikuti oleh pembelahan telur dengan rentang waktu antara 40 menit dan 2 jam. Fase selanjutnya yaitu blastulasi terjadi antara 2-5 jam setelah pembuahan menghasilkan blastula menyerupai bola berongga dan mengandung banyak lapisan sel yang mengelilingi rongga yang dikenal sebagai blastosol. Tahap perkembangan selanjutnya gastrulasi berlangsung antara 5 sampai 10 jam dan menghasilkan produksi tiga lapisan germinal dan dengan demikian rencana tubuh organisme. Selanjutnya dua fase lainnya menyusul yaitu segmentasi dan tahap faringula sebelum menetas. Dalam dua tahap ini, struktur organisme berkembang lebih jauh dengan kepala dan ekor menjadi lebih menonjol dan terlihat. Penetasan larva terjadi antara 48 dan 72 jam setelah pembuahan dengan ukuran larva 3 mm. Dalam kurun waktu sekitar 3 hari, larva mengalami morfogenesis yang ditandai dengan perkembangan berbagai struktur anatomi. Pada tahap larva akhir (sekitar 7 hari setelah pembuahan) organisme mampu berenang, menggerakkan rahangnya dan bahkan memakan berbagai bahan makanan. Pada fase juvenil (antara 2 dan 10 minggu) organisme mampu memakan organisme kecil seperti cacing kecil dan udang

(Microscopemaster, 2022). Ikan zebra mencapai kematangan seksual pada usia tiga bulan dan dapat hidup hingga 5 tahun (D'costa & Shapherd, 2009)

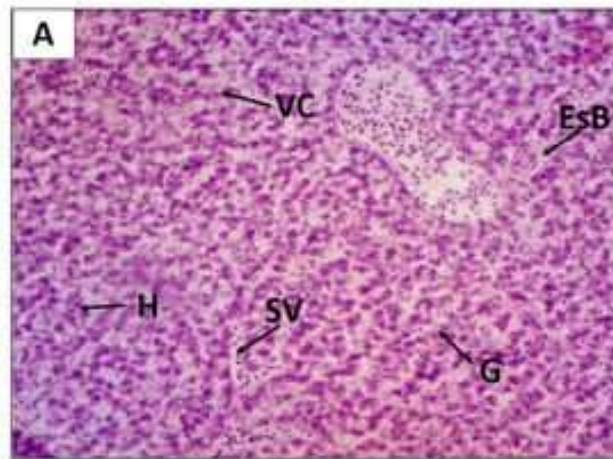
### **II.3.3 Habitat dan Pakan**

Habitat asli ikan zebra yaitu berada di Amerika Tengah. Biasanya, ikan zebra hidup di beberapa tempat seperti sungai, danau, serta area persawahan dimana terdapat substrat berlumpur (Omelda, 2016). Ikan zebra memiliki pola pertumbuhan yang bersifat isometrik serta faktor kondisi dengan nilai cukup baik (Sentosa & Wijaya (2013). Mayoritas ikan zebra dikumpulkan dari alam ditemukan di lingkungan dengan pH antara 5,9 sampai 8,19 (Engesz *et al*, 2007).

Pakan utama ikan zebra antara lain serangga yang sesuai dengan bukaan mulutnya (Omelda, 2016). Hal ini karena populasi serangga yang berbeda-beda sehingga menjadikan ikan zebra beradaptasi dan memanfaatkan sumber daya pakan alami lain yang tersedia, seperti zooplankton. Dalam memilih makanan, ikan zebra bersifat generalis dan dapat beradaptasi dengan ketidakstabilan ketersediaan makanan di alam. Apabila ketersediaan makanan utamanya tidak terpenuhi maka ikan zebra akan beralih pada makanan pelengkapya (Sentosa & Wijaya, 2013).

### **II.4 Histopatologi Hati**

Hati ikan tersusun atas *hepatosit* (sel hati) yang dikelilingi oleh *sinusoid*. Hati memproduksi berbagai enzim yang bisa melakukan biotransformasi atas zat-zat endogen dan eksogen. Suplai darah yang diterima hati sebanyak 89% berasal dari vena portal yang mengalirkan darah dari sistem gastrointestinal. Portal dalam menyerap zat racun berasal dari zat logam, fungi, mineral, tumbuhan, serta zat kimia lain yang akan ditransportasikan ke hati.



Gambar II.4 Histologi hati ikan zebra (Diego *et al.*, 2019)

Organ hati sensitif pada paparan berbagai macam toksikan di lingkungan perairan, dan akan memunculkan gejala berupa perubahan biokimia dan fisiologis akibat paparan toksikan. Beberapa kerusakan pada histologi hati ikan akibat toksikan antara lain kongesti, hemoragi, hipertropi, degenerasi hidrofilik, *shrinkage of hepatocyte*, dan nekrosis (Muliari *et al.*, 2019).

#### II.4.1 Kongesti

Kongesti merupakan pembendungan darah pada jaringan yang disebabkan adanya gangguan sirkulasi yang dapat mengakibatkan kekurangan oksigen dan zat gizi. Ikan yang terinfeksi biasanya dalam keadaan stress karena beberapa faktor dan warna kulit yang gelap dengan hemoragik ireguler yang luas pada permukaan tubuh dan pangkal sirip. Selain itu, ikan juga menunjukkan gejala asites. Pada saat nekrosis organ terlihat mengalami kongesti dengan hemoragik pada organ dalam. Saat pemeriksaan pada ginjal biasanya akan terjadi pembengkakan pada organ dalam dan keluarnya cairan kental. (Asnita, 2011).

#### II.4.2 Hemoragi

Hemoragi diindikasikan dengan keluarnya darah dari pembuluhnya baik ke dalam jaringan tubuh atau ke luar tubuh (Asnita, 2011). Hemoragi merupakan robeknya dinding pembuluh darah yang disebabkan oleh zat beracun dan agen patogen, yang pada awalnya kapiler merenggang atau kosong akan cepat dipenuhi oleh darah (Yudhi *et al.*, 2014). Kerusakan ini dapat dikenali dengan adanya titik darah dengan spot kecil maupun besar (Juanda & Edo, 2018).

Jamin dan Erlangga (2016) dalam penelitiannya juga menunjukkan bahwa hemoragi merupakan pendarahan pada sel yang diakibatkan oleh pecahnya pembuluh darah sehingga menyebabkan darah mengalir pada tempat yang tidak semestinya baik ke luar tubuh maupun ke dalam jaringan tubuh. Hemoragi pada histopatologi yang diamati terlihat dengan adanya bintik merah pekat atau hitam. Tanda ini sesuai dengan yang dinyatakan Andayani *et al.* (2018), dimana hemoragi ditandai dengan adanya bintik darah pada pembuluh darah jaringan tubuh yang diakibatkan kongesti pada hati sudah sangat parah sehingga menyebabkan pembuluh darah menjadi rusak. Kerusakan ini biasanya disebabkan karena adanya bakteri patogen (Asnita, 2011) dan Kandungan pada ekstrak tumbuhan pada umumnya dalam penggunaan jumlah banyak (Alif *et al.*, 2021)

#### **II.4.3 Hipertropi**

Hipertropi pada sel hati terjadi diduga karena adanya vakuolisasi hingga menyebabkan pembesaran sitoplasma. Vakuolisasi akan menyebabkan inti sel hati mengalami penciutan (*shrinkage of hepatocyte*) (Muliari *et al.*, 2019). Apabila konsentrasi polutan semakin tinggi maka proses vakuolisasi pada sel hati akan semakin meningkat (Zulfahmi *et al.*, 2016). Hipertropi yakni kerusakan jaringan yang ditandai dengan pertambahan ukuran organ akibat bertambahnya ukuran sel sehingga sel yang satu dengan yang lainnya saling lepas. Karakteristik dari hipertropi ini dapat dilihat dengan mengecilnya lumen pada tubulus dan membesarnya sel-sel tubulus (Mandia *et al.*, 2013).

#### **II.4.4 Degenerasi Hidrofilik**

Degenerasi sel atau kemunduran sel merupakan kelainan sel akibat cedera ringan. Cedera ringan yang mengenai struktur dalam sel seperti mitokondria dan sitoplasma yang akan mengganggu metabolisme sel. Sifat kerusakan ini reversibel yaitu dapat diperbaiki jika penyebabnya segera dihilangkan, jika tidak dihilangkan atau bertambah berat maka akan menjadi irreversibel serta sel akan mati. Kelainan sel pada cedera ringan yang bersifat reversibel ini dinamakan kelainan degenerasi yang menyebabkan berbagai macam bahan akan tertimbun di luar maupun di dalam sel (Nazarudi, 2018). Wolfe & Wolfe (2005) juga mendeskripsikan bahwa paparan minyak dapat menyebabkan meningkatnya akumulasi lipid pada hati

menimbulkan dampak pada terjadinya degenerasi hidrofilik sehingga sel hepatosit membesar.

#### **II.4.5 Penciutan hepatosit (*Shrinkage of hepatocyte*)**

Zulfahmi *et al.*, (2015) penciutan hepatosit atau *shrinkage of hepatocyte* disebabkan oleh adanya vakuolisasi. Semakin tinggi konsentrasi polutan berakibat pada semakin meningkatnya proses vakuolisasi pada sel hati. Selanjutnya, hipertropi pada sel hati disebabkan oleh pembengkakan sel (vakuolisasi) sehingga sitoplasma membesar. Terjadinya vakuolisasi akan menekan inti sel yang lama kelamaan akan menyebabkan *shrinkage of hepatocyte* (penciutan pada inti sel) (Zulfahmi *et al.*, 2014). Penciutan pada sel hati pernah dilaporkan oleh Ahmad *et al.*, (2013) pada *Oreochromis mossambicus* akibat paparan arsen.

#### **II.4.6 Nekrosis**

Nekrosis merupakan kematian sel suatu jaringan yang ditandai dengan hilangnya struktur jaringan. Biasanya terjadi bersamaan dengan terjadinya pemecahan pada membran plasma tanpa adanya perubahan struktural pada membran. Hal ini menjadikan membran tidak bisa dideteksi sebelum pecah (Setyowati *et al.*, 2012). Nekrosis yang terjadi pada jaringan ikan salah satunya yaitu nekrosis pada jaringan lamela sekunder yang menunjukkan rusaknya lamela sekunder sehingga bentuknya sudah tidak sempurna lagi (Juanda & Edo, 2018). Menurut Strzyzewska *et al.*, (2016) jika edema terjadi secara terus menerus mengakibatkan kematian sel (nekrosis) karena sel kehilangan kemampuan untuk memperbaiki kerusakan yang ada. Kerusakan jaringan nekrosis pada hati ikan dapat ditandai dengan hilangnya struktur jaringan. Nekrosis dapat ditandai dengan adanya piknosis (Meidiza, 2017).

#### **II.5 Logam Berat**

Logam berat merupakan unsur yang memiliki densitas melebihi 5 gram/cm<sup>3</sup>. Logam berat pada umumnya dalam kadar rendah dapat meracuni organisme, baik manusia, hewan dan tumbuhan. Logam berat memiliki sifat yang stabil dan sulit terurai sehingga dikatakan zat pencemar. Logam berat dalam perairan akan terakumulasi pada rantai makanan hingga biota di perairan (Kusmiati, *et al.*, 2012). Berdasarkan sifat racunnya logam berat dibagi atas empat

golongan diantaranya sangat beracun, moderat, kurang beracun dan tidak beracun. Logam berat tersebut antara lain merkuri (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), tembaga (Cu), besi (Fe), magnesium (Mg), dan seng (Zn).

### II.5.1 Merkuri (Hg)

Merkuri menduduki peringkat pertama dalam hal daya racunnya diantara semua logam berat. Diikuti oleh logam berat lainnya yaitu Cd, Ag, Ni, Pb, As, Cr, Sn, dan Zn. Merkuri di perairan akan dikonversi menjadi metil merkuri (Hikmawati & Sulistyorini, 2006). Merkuri masuk ke dalam tubuh melalui pernafasan, penetrasi dari kulit dan makanan. Sebagian besar akan diekskresikan, sisanya akan menumpuk pada ginjal dan sistem saraf yang suatu saat akan mengganggu bila akumulasinya semakin tinggi. tingginya penyerapan merkuri dalam waktu singkat dapat menyebabkan berbagai gangguan mulai dari rusaknya keseimbangan tubuh, tidak dapat berkonsentrasi, tuli, dan berbagai gangguan lain (Hutagalung & Manik, 2002 dalam Muliari *et al.*, 2019).

Merkuri merupakan salah satu kontaminan yang paling banyak ditemukan di perairan dan sedimen (Ullrich *et al.*, 2001). Merkuri dapat menyebabkan perubahan tingkah laku pada ikan seperti hiperaktif, pergerakan operculum yang cepat dan lambat, dan sirip punggung yang berdiri tegak. Selain itu juga menyebabkan sekresi lendir yang berlebihan, menurunnya nilai *hepato somatic indeks* (HSI), vakuolisasi pada hati, kerusakan histologi insang seperti hipertropi, vakuolisasi, *curling of secondary lamella*, *proliferasi*, dan nekrosis (Zulfahmi *et al.*, 2014).

### II.5.2 Kadmium (Cd)

Kadmium merupakan salah satu unsur kimia alam yang memiliki tingkat bahaya tinggi bagi lingkungan. Hal ini dikarenakan kadmium memiliki sifat anti metabolik terhadap seng (Zn) yang berfungsi mengikat oksigen pada darah suatu organisme. Apabila kandungan Cd di dalam tubuh suatu organisme berlebih akan menyebabkan gangguan proses sirkulasi pada organisme (Muliari *et al.*, 2019). Kadmium di air di perairan terdiri atas berbagai jenis/bentuk. Kadmium di dalam air laut didominasi oleh senyawa klorida ( $\text{CdCl}_2$ ), sedangkan dalam air tawar berupa senyawa karbonat ( $\text{CdCO}_3$ ) (Andriyani & Mahmudiono, 2009).

Menurut pratiwi *et al.*, (2016) dalam Muliari *et al.*, (2019), kadmium dapat masuk ke tubuh ikan melalui air dan makanan yang terkontaminasi. Kadmium masuk ke dalam sel insang menyebabkan terjadinya penurunan aktivitas pompa ion kalsium ( $\text{Ca}^+$ ), menyebabkan penurunan kadar eritrosit (Eka *et al.*, 2016), penurunan jumlah leukosit jenis neutrofil (Ghiasi *et al.*, 2010), dan perubahan genetik pada ovarium ikan (Das & Mukherjee, 2013).

### II.5.3 Timbal (Pb)

Kandungan logam berat timbal di lingkungan perairan sering kali merupakan sumbangsih dari aktivitas industri yang menghasilkan limbah pencemar yang mengandung logam berat tersebut. Sumber timbal di perairan berasal dari aktivitas manusia melalui kegiatan ekstraksi dan eksploitasi logam tersebut. timbal juga banyak digunakan dalam berbagai industri seperti industri kimia, industri percetakan dan industri pengolahan logam (Muliari *et al.*, 2019).

Timbal yang masuk ke dalam tubuh organisme bersifat akumulatif mengakibatkan terjadinya penumpukan dalam jaringan dan organ tubuh. Senyawa timbal yang masuk ke dalam ekosistem menjadi sumber pencemar dan berpengaruh terhadap biota perairan (Muliari *et al.*, 2019). Paparan timbal dapat menyebabkan penurunan laju pertumbuhan spesifik dan laju pertumbuhan panjang harian ikan (Yulaipi & Aunurohim, 2013), penurunan kadar hemoglobin (Sahetapy, 2013), penurunan kadar hematokrit (Royan *et al.*, 2014), dan peningkatan aktivitas enzim katalase hati (Siregar, 2016).

### II.5.4 Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan elemen mikro yang sangat dibutuhkan oleh organisme, baik darat maupun perairan, namun dalam jumlah yang sedikit. Keberadaan Cu di suatu perairan umum dapat berasal dari daerah industri yang berada di sekitar perairan tersebut. Logam ini akan terserap oleh biota perairan secara berkelanjutan apabila keberadaannya dalam perairan selalu tersedia. Terlebih lagi bagi biota perairan dengan mobilitas yang rendah seperti kerang (Cahyani *et al.*, 2012). Menurut Palar (2012) sumber alami logam berat Cu adalah dari pengikisan (erosi) dari batuan mineral dan debu-debu yang mengandung

partikulat Cu di udara sedangkan sumber aktivitas manusia adalah industri, galangan kapal dan rumah tangga.

Menurut Yanthy *et al.* (2013) salah satu sumber logam berat Cu yang berasal dari kegiatan rumah tangga adalah limbah dari cairan pembersih lantai yang mengandung CuO. Sabullah *et al.*, (2014) melaporkan bahwa Cu merupakan polutan kimia yang apabila memasuki tubuh ikan akan dapat merusak dan melemahkan mekanisme yang berkaitan dengan fisiologis, perubahan biokimia dan adanya patologi. Logam Cu dalam kadar yang tinggi dapat menghambat fungsi biologis dan menyebabkan perubahan histologi.

### **II.5.5 Besi (Fe)**

Logam Fe merupakan logam esensial yang keberadaannya dalam jumlah tertentu sangat dibutuhkan oleh organisme hidup, namun dalam jumlah berlebih dapat menimbulkan efek racun. Tingginya kandungan logam Fe akan berdampak terhadap kesehatan manusia diantaranya bisa menyebabkan keracunan (muntah), kerusakan usus, penuaan dini hingga kematian mendadak, radang sendi, cacat lahir, gusi berdarah, kanker, sirosis ginjal, sembelit, diabetes, diare, pusing, mudah lelah, hepatitis, hipertensi, insomnia (Parulian, 2009).

Tingginya kandungan logam besi (Fe) di perairan diduga disebabkan oleh kandungan Fe yang berasal dari beberapa sumber, yaitu selain dari tanah juga berasal dari aktivitas manusia yang terjadi di daratan yakni adanya buangan limbah rumah tangga yang mengandung besi, reservoir air dari besi, endapan-endapan buangan industri dan korosi dari pipa-pipa air yang mengandung logam besi (Supriyantini & Endrawati, 2015). Defisiensi besi (Fe) menimbulkan gejala anemia seperti lemah, *fatigue*, sulit bernafas waktu berolahraga, kepala pusing, diare, penurunan nafsu makan, kulit pucat, kuku berkerut, kasar dan cekung serta terasa dingin pada tangan dan kaki (Siregar, 2009).



### II.5.6 Magnesium (Mg)

Magnesium merupakan salah satu logam berat yang menjadi indikator pencemaran perairan (Purnami *et al.*, 2010). Magnesium merupakan logam berat golongan alkali tanah yang bertanggung jawab atas kesadahan air. Air yang mengandung sejumlah besar ion alkali tanah disebut dengan air sadah, sedangkan air yang mengandung sejumlah kecil ion ini disebut air lunak. Magnesium pada air laut berjumlah sekitar 1300 ppm dan air sungai mengandung sekitar 4 ppm (Lenntech, 2022).

Magnesium dibutuhkan oleh organisme perairan seperti ikan dan fitoplankton dalam jumlah yang kecil. Organisme perairan biasanya mendapatkan magnesium dari makanan dan lingkungan perairan. Air dengan alkalinitas rendah biasanya memiliki konsentrasi magnesium yang tinggi, sedangkan pada air dengan alkalinitas tinggi mengandung konsentrasi magnesium yang rendah (Responsible Seafood Advocate, 2015). Magnesium dapat menghambat pertumbuhan *Lemna aequinoctialis*, *Hydra viridissima*, dan *Ameriana cumingi* (Van Dam *et al.*, 2010).

### II.5.7 Seng (Zn)

Salah satu kasus pencemaran air oleh limbah logam berat adalah pencemaran seng (Zn). Logam seng dan berbagai macam bentuk persenyawaannya dapat masuk dan mencemari lingkungan. Pencemaran seng terutama merupakan efek samping dari aktivitas manusia. Faktanya, semua bidang industri yang melibatkan penggunaan seng dalam proses operasional produksi menjadi sumber paparan seng. Logam seng umumnya masuk ke tubuh organisme melalui makanan dan air yang mengandung seng, lalu mengalami proses biotransformasi dan bioakumulasi (Palar, 2008).

Paparan Zn pada jaringan organ tubuh ikan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya konsentrasi logam dalam air, sedimen dan biota makanan ikan. Pada konsentrasi tertentu menyebabkan edema, lisis, hipertropi, dan nekrosis sel-sel lamela insang ikan, lisis, hipertropi, hiperplasia dan nekrosis sel-sel hati dan ginjal, nekrosis pada sel-sel kulit dan otot. Pada kondisi tertentu

menyebabkan kematian dan penurunan populasi ikan. Paparan logam berat pada jaringan ginjal kebanyakan ditemukan organ glomerulus, tubulus dan otot ginjal. Paparan logam berat yang berlebihan mengganggu fungsi glomerulus sebagai penyaring dan membersihkan sel-sel darah (Harteman, 2013).



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### III.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian seperti aklimatisasi, uji toksisitas akut, dan pengamatan pertumbuhan ikan dilakukan di Laboratorium Multifungsi Universitas Islam Negeri Ar-raniry. Pemeriksaan *chemical oxygen demand* (COD), *total suspended solid* (TSS), *total solid* (TS) dan kandungan logam dilaksanakan di Laboratorium Teknik Kimia USK. Pemeriksaan histopatologi hati dilakukan di Laboratorium Histologi Fakultas Kedokteran USK. Pelaksanaan penelitian dilakukan mulai tanggal 12 Oktober 2021 sampai 07 November 2021. Beberapa tahapan dalam penelitian dirincikan di dalam tabel di bawah ini:

Tabel 3.1. Jadwal pelaksanaan penelitian

No	Kegiatan	Waktu Penelitian								
		Oktober			November			Desember		
1	Persiapan alat dan bahan									
2	Aklimatisasi ikan zebra									
3	Pengambilan limbah cair kelapa sawit									
4	Pengukuran logam berat									
5	Uji toksisitas akut									
6	Preparasi histopatologi									
7	Analisa data									
8	Penulisan skripsi									

### III.2 Objek Penelitian

Penelitian ini digunakan objek berupa ikan zebra jantan yang berumur sekitar 3 bulan dengan panjang berkisar antara 2-3 cm dengan bobot berkisar antara 0,10-0,20 gram. Koleksi ikan didapat dari pedagang ikan hias di Banda Aceh. Ikan yang digunakan berjumlah 10 ekor ikan. Ikan terlebih dahulu diaklimatisasi sebelum dilakukan penelitian selama 96 jam. Saat berlangsungnya aklimatisasi ikan diberi makan dengan pakan *Pre-Starter-Crumble (PSC)* sebanyak dua kali sehari.

### III.3 Koleksi Limbah Cair Kelapa Sawit

Koleksi limbah cair sebanyak 20 L diambil dari kolam pengendapan kedelapan dari PT. Ujong Neubok Dalam Kabupaten Nagan Raya, Provinsi Aceh. Selanjutnya, limbah cair kelapa sawit dibawa ke laboratorium menggunakan transportasi darat.

### III.4 Alat dan Bahan

Penelitian ini digunakan alat-alat yaitu akuarium ukuran 3 liter, aerator, pisau bedah, labu ukur, mikrotom, mikroskop, *water bath*, *stopwatch*, turbidimeter, DO meter, termometer, pH meter, timbangan digital, penggaris, termometer, kaca benda, kaca penutup, termoreaktor, *cassette*, *staining jar*, kamera, *atomic absorption spectrophotometer (AAS)* sebagai alat analisis kandungan logam, dan spektrofotometer sebagai alat pengukuran kandungan *chemical oxygen demand (COD)*.

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah ikan zebra, limbah cair kelapa sawit, aquades, larutan KHP 500 ppm, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat, *digestion solution* rendah, larutan Davidson, xylol, parafin, alkohol, dan hematoksilin, eosin dan *etellan*.

### III.5 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif.

### III.6 Prosedur Kerja

#### III.6.1 Parameter

Parameter limbah cair kelapa sawit yang diukur berupa pH, COD, TSS, TS. Logam berat yang diukur adalah timbal (Pb), kadmium (Cd), tembaga (Cu),

Besi (Fe), Magnesium (Mg), dan seng (Zn). Pengukuran parameter dilakukan pada awal penelitian (Wulandari *et al.*, 2016).

### III.6.2 Analisis Kandungan Logam

Analisis kandungan logam dilakukan terhadap beberapa logam diantaranya kadmium (Cd), magnesium (Mg), besi (Fe), timbal (Pb), seng (Zn), dan tembaga (Cu). Prosedur pengukuran kadar logam berat dilakukan dapat ditentukan dengan cara sebagai berikut (Wulandari *et al.*, 2016):

1. Preparasi sampel dengan metode destruksi basah

Limbah cair kelapa sawit diambil sebanyak 100 mL lalu dimasukkan dalam erlenmeyer, kemudian ditambah dengan 10 mL HNO<sup>3</sup> pekat. Campuran tersebut dipanaskan perlahan-lahan hingga mendidih. Apabila diperoleh larutan yang jernih maka destruksi dihentikan, lalu didinginkan. Larutan disaring dengan kertas *Whatman* no.40 dan dimasukkan dalam labu takar 100 ml, kemudian ditambahkan aquades sampai batas tanda.

2. Pembuatan kurva kalibrasi

Kurva kalibrasi unsur logam berat diperoleh dengan mengukur serapan larutan standar masing-masing unsur pada kondisi optimum unsur Larutan Cd standar, Mg standar, Fe Standar, Pb standar, Cu standar dan Zn standar. Konsentrasi masing-masing larutan standar ditentukan dengan seri kadar masing-masing larutan.

3. Analisis kuantitatif kandungan logam

Analisis kuantitatif kandungan logam diukur pada larutan hasil destruksi basah. Konsentrasi standar logam Cd, Mg, Fe, Pb, Zn dan Cu masing-masing diukur serapannya pada alat *atomic absorption spectrophotometer* (AAS).

### III.6.3 Uji LC<sub>50</sub>-96 jam

Uji LC<sub>50</sub>-96 jam digunakan dua perlakuan ( a. Kontrol, b. 5.01 mL/l) sebanyak lima kali ulangan. Setiap akuarium diisi dengan limbah cair kelapa sawit sesuai dengan konsentrasi yang telah ditentukan. Tiap-tiap wadah dimasukkan satu ekor sampel. Pertumbuhan ikan dan histopatologi diamati pada jam ke 24, 48,

72, dan 96. Selama pengujian ikan tidak diberikan pakan dan tidak dilakukan pergantian air namun aerasi tetap diberikan.

### III.6.4 Pertumbuhan Ikan

Pengamatan pertumbuhan ikan dilakukan pada konsentrasi LC<sub>50</sub>-96 jam pada jam ke 24, 48, 72, dan 96 jam. Pengukuran panjang dilakukan dengan cara masing-masing ikan dimasukkan ke dalam plastik yang berisi sedikit air, kemudian ikan dihadapkan ke sebelah kiri dan diukur. Pengukuran panjang yang dilakukan dalam adalah pengukuran panjang total atau *total length* (TL) yaitu ukuran lurus horizontal dari ujung kepala hingga ujung ekor.



Gambar III.1 Panjang total ikan atau *total length* (Al-Jubouri *et al.*, 2017)

Sedangkan pengukuran bobot ikan dilakukan dengan cara gelas kimia yang telah berisi air diletakkan di atas timbangan digital, kemudian ditekan tombol tare agar angka pada timbangan kembali ke nol, lalu dimasukkan individu ikan ke dalam gelas kimia dan dilihat bobot ikan pada layar. Data pengukuran meliputi panjang awal (L<sub>0</sub>), berat awal (W<sub>0</sub>), panjang akhir (L<sub>t</sub>), berat akhir (W<sub>t</sub>), *Specific Growth Rate* (SGR) dan *Specific Long Rate* (SLR).

Pertambahan panjang dan berat mutlak dihitung dengan rumus di bawah ini :

$$P_m = L_t - L_0$$

Keterangan :

P<sub>m</sub> : Pertambahan panjang mutlak (cm)

L<sub>t</sub> : Panjang akhir (cm)

L<sub>0</sub> : Panjang awal (cm)

$$W_m = W_t - W_o$$

Keterangan :

$W_m$  : Pertambahan berat mutlak (gram)

$W_t$  : Berat akhir (gram)

$W_o$  : Berat awal (gram)

Laju pertumbuhan spesifik ikan dihitung pada akhir penelitian dengan berdasarkan rumus *Specific Growth Rate* dan *Specific Long Rate* dibawah ini:

$$SGR = \left[ \frac{(\ln W_t - \ln W_o)}{t} \right] \times 100 \%$$

Keterangan:

$\ln W_t$ : Bobot ikan pada akhir penelitian (gram)

$\ln W_o$ : Bobot ikan pada awal penelitian (gram)

$t$  : Waktu pemeliharaan (hari)

$SGR$  : *Specific Growth Rate* (%/hari)

$$SLR = \left[ \frac{(\ln L_t - \ln L_o)}{t} \right] \times 100 \%$$

Keterangan:

$\ln L_t$  : Panjang ikan pada akhir penelitian (cm)

$\ln L_o$  : Panjang ikan pada awal penelitian (cm)

$t$  : Waktu pemeliharaan (hari)

$SLR$  : *Specific Long Rate* (%/hari)

### III.6.5 Preparasi Histopatologi Hati

Tahapan proses analisis histopatologi pada hati ikan zebra dilakukan pada  $LC_{50}$  setiap 24 jam salah satu ikan dipilih secara acak untuk dibuatkan preparasi histopatologi hati. Tahap-tahap proses analisis histopatologi pada hati mengacu pada Standar Nasional Indonesia (2009), meliputi fiksasi preparat histologi hati ikan menggunakan larutan Davidson selama 24 jam. Selanjutnya dehidrasi dengan menggunakan alkohol bertingkat (70%, 80%, 95%, dan 100%), pembersihan (*clearing*) sisa-sisa alkohol dengan perendaman ke dalam larutan xylol I dan xylol II masing-masing selama dua jam. Setelah itu pelekatan organ (*embedding*) dengan perendaman ke dalam parafin cair I dan parafin II masing-masing 2 jam. Kemudian dibuat balok parafin dengan menggunakan cetakan. Setelah parafin

membeku dilakukan pemotongan blok parafin dengan mikrotom dengan ketebalan 5  $\mu\text{m}$ .

Setelah itu, dilakukan tahap pewarnaan haematoxylin-eosin meliputi defarafinisasi dengan larutan xylol I dan xylol II masing-masing 2 menit, rehidrasi dengan alkohol absolut I, alkohol absolut II, alkohol 95% I dan alkohol 95% 2 masing-masing 2 menit, setelah itu diwarnai dengan hematoxylin selama 15 menit, lalu direndam dengan aquades selama 2 menit, kemudian dimasukkan ke dalam acid alkohol selama 1 menit, lalu dicuci pada air mengalir. Selanjutnya diwarnai dengan eosin selama 5-15 menit, dehidrasi dengan alkohol 95% I, alkohol 95% II, alkohol absolut I, alkohol absolut II, masing-masing 2 menit, *clearing* (pencucian) dengan xylol I, xylol II, dan xylol III masing-masing 2 menit, kemudian *mounting* dengan cara ditetesi *etellan* secukupnya dan ditutup dengan kaca penutup.

### III.7 Analisis Data

Data yang diperoleh disajikan dalam bentuk kisaran rata-rata dan standar deviasi. Signifikasi terhadap nilai parameter pertumbuhan antar perlakuan ditentukan dengan menggunakan uji *independent sample (t-test independent)*. Kriteria berbeda signifikan yang digunakan pada penelitian ini adalah tingkat kepercayaan 95% ( $p < 0,05$ ). Tingkat kerusakan histologi hati serta perubahan tingkah laku dianalisis secara semikuantitatif mengacu pada Mishra *et al.*, (2008), yaitu tidak ada kerusakan dan perubahan (-, 0%), ringan (+, < 25%), sedang (++, 25 sampai 50%), berat (+++, > 50%). Analisis statistik dilakukan menggunakan software SPSS 22.



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### IV.1 Hasil Penelitian

#### IV.1.1 Karakteristik Limbah Cair Kelapa Sawit

Sebanyak sepuluh parameter kandungan limbah cair kelapa sawit yang digunakan dalam penelitian ini telah dianalisis meliputi COD, zat padat total (TS), zat padat tersuspensi (TSS), pH, dan logam berat (Cd, Mg, Fe, Pb, Zn dan Cu). Nilai COD, TS, TSS dan pH yang diperoleh yaitu masing-masing sebesar 52.906 mg/L, 36.696 mg/L, 2.400 mg/L dan 2,8. Sementara itu, kandungan Cd, Mg, Fe, Pb, Zn dan Cu yaitu masing-masing sebesar 283,15 mg/L, 515,25 mg/L, 47,29 mg/L, 0,0099 mg/L, 165,35 mg/L, dan 196,4 mg/L. Hasil analisis parameter fisika-kimia limbah cair kelapa sawit dapat diamati pada tabel di bawah ini:

Tabel IV.1 Karakteristik fisika-kimia dan batas baku mutu limbah cair kelapa sawit

<i>Parameters</i>	<i>Unit</i>	<i>Value</i>	<i>Indonesia Regulatory discharge limits<sup>1</sup></i>	<i>Malaysia Regulatory discharge limits<sup>2</sup></i>
Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	52.906	300	200
Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	2.400	400	100
Zat Padat Total (TS)	mg/L	36.696	200	-
pH		2,8-3,1	6-9	5-9
Magnesium (Mg)	mg/L	515,25	-	-
Besi (Fe)	mg/L	47,29	10	5,0
Timbal (Pb)	mg/L	0,0099	1	0,5
Seng (Zn)	mg/L	165,35	10	2,0
Tembaga (Cu)	mg/L	196,4	3	1,0
Kadmium (Cd)	mg/L	283,15	0,1	0,02

<sup>1</sup>Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2015 Tentang Baku Mutu Air Limbah, Lampiran A.IV Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, Tanggal 23 Oktober 1995).

<sup>2</sup>*Environmental Quality (Industrial Effluents) Regulations 2009, Department of Environment Malaysia (Hashiguchi et al., 2021).*

Hasil analisis menunjukkan bahwa dari nilai-nilai tersebut hanya parameter Pb yang memenuhi baku mutu yang ditetapkan, sedangkan parameter lainnya masih jauh berada di atas baku mutu baik yang ditetapkan oleh pemerintah Indonesia (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah) dan Malaysia (*Environmental Quality (Industrial Effluents) Regulations 2009, Department of Environment Malaysia*). Sejauh ini, untuk parameter Mg masih belum ditentukan batas ambang baku mutu pengolahan limbahnya baik di Indonesia maupun Malaysia.

#### IV.1.2 Pertumbuhan Ikan

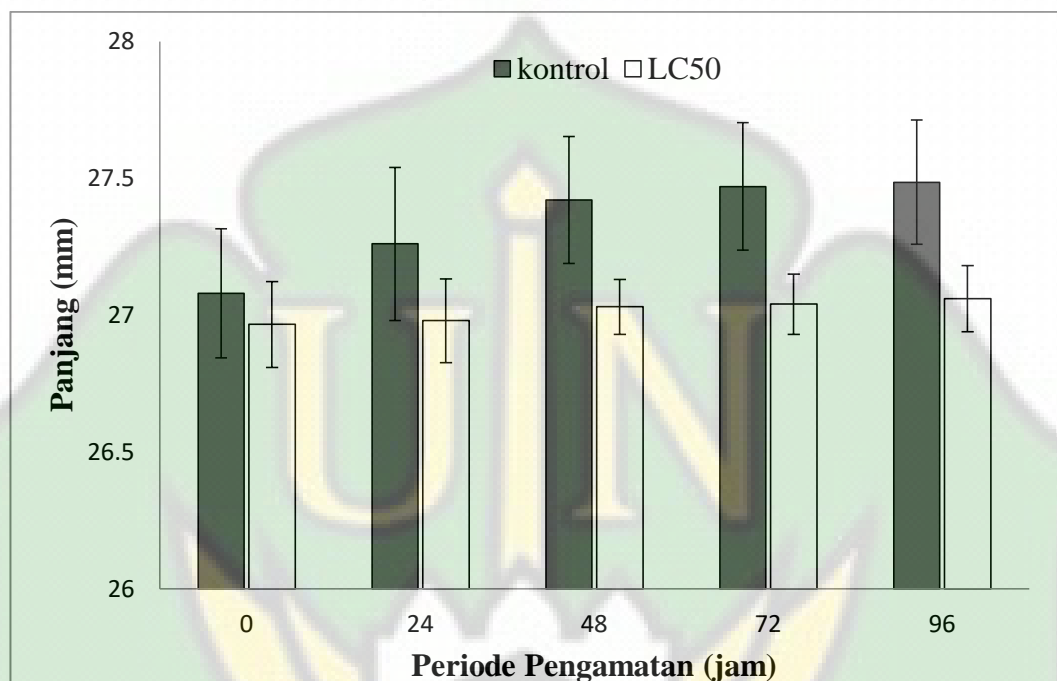
Hasil penelitian menunjukkan pertambahan panjang ikan zebra (*Brachydanio rerio*) selama penelitian dapat disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel IV.2 Pertumbuhan ikan zebra (*Brachydanio rerio*) yang dipapar limbah cair kelapa sawit pada konsentrasi akut selama 96 jam

Parameter	Unit	Kontrol	LC <sub>50</sub> -96 jam
Panjang awal	mm	27.07 ± 0.23	26.96 ± 0.15
Panjang akhir	mm	27.48 ± 0.22	27.06 ± 0.12
Berat awal	g	0.17 ± 0.01	0.16 ± 0.008
Berat akhir	g	0.11 ± 0.009	0.08 ± 0.015
Pertumbuhan Panjang mutlak (pm)	mm	0,35 ± 0,15	0,05 ± 0,04
Pertumbuhan Berat mutlak (wm)	gram	-0.05 ± 0.009	-0.07 ± 0.015
<i>Spesific long rate</i> (SLR)	%/hari	0.07 ± 0.031	0.01± 0.008
<i>Specific growth rate</i> (SGR)	%/hari	-0.008 ± 0.005	-0.015 ± 0.003

Berdasarkan Tabel IV.2 menunjukkan bahwa pertambahan panjang ikan zebra (*Brachydanio rerio*) pada perlakuan kontrol yaitu 0.41 mm sedangkan pada konsentrasi akut yaitu 0.1 mm. Penurunan berat pada perlakuan kontrol yaitu -0.06 gram, sedangkan pada konsentrasi akut yaitu -0.08 gram. Pertumbuhan panjang mutlak ikan zebra pada perlakuan kontrol dan konsentrasi akut yaitu masing-masing sebesar 0,35±0.15 mm (SLR: 0.07±0.031 %/hari) dan 0.05±0.04 mm (SLR: 0.01±0.008 %/hari). Sementara itu, nilai pertumbuhan berat mutlak yaitu sebesar -0.05±0.009 gram (SGR -0.008±0.005 %/hari) dan -0.07±0.015 gram (SGR:-0.015±0.003 %/hari).

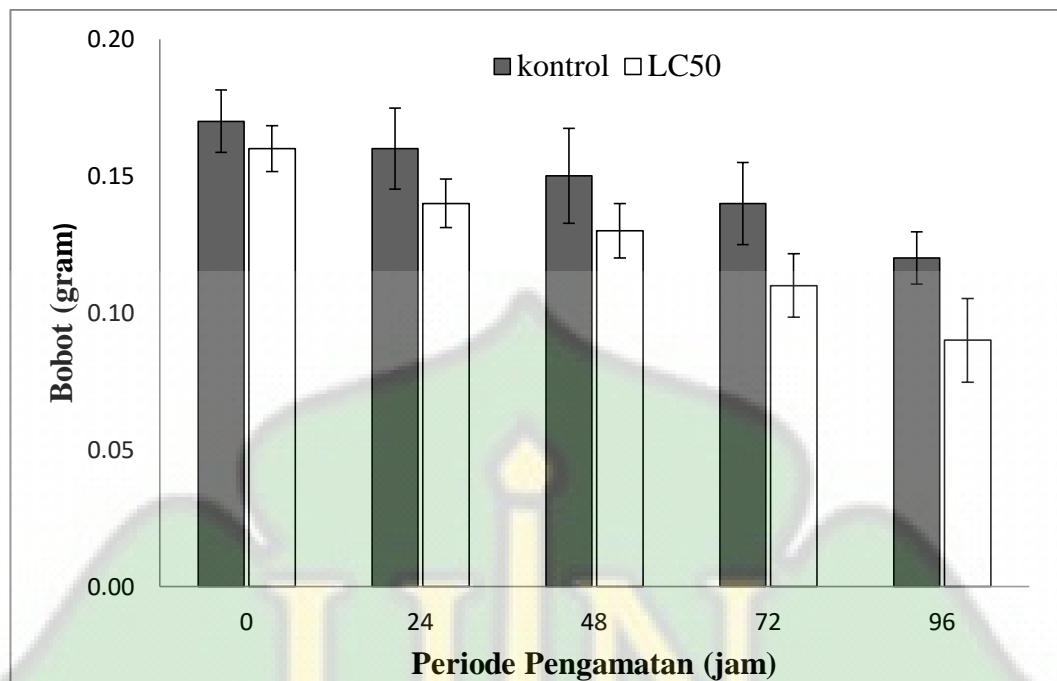
Panjang ikan zebra pada perlakuan kontrol dari awal penelitian sampai akhir penelitian yaitu 27,07 sampai 27,48 mm, sedangkan ikan yang terpapar limbah cair kelapa sawit dari awal penelitian sampai akhir penelitian yaitu 26,96 sampai 27,06 mm. Pengamatan panjang ikan selama penelitian dapat dilihat pada gambar IV.2



Gambar IV.1 Grafik panjang ikan zebra (*Brachydanio rerio*) uji lc<sub>50</sub>-96 jam

Berdasarkan analisis statistik menunjukkan bahwa panjang ikan zebra perlakuan kontrol dan konsentrasi akut pada jam ke 48, 72, dan 96 terdapat perbedaan yang signifikan ( $p < 0.05$ ).

Bobot ikan zebra pada perlakuan kontrol dari awal penelitian sampai akhir penelitian yaitu 0,17 sampai 0,11 gram, sedangkan ikan yang terpapar limbah cair kelapa sawit dari awal penelitian sampai akhir penelitian 0,16 sampai 0,08 gram. Penurunan bobot ikan selama penelitian dapat dilihat pada gambar IV.2.

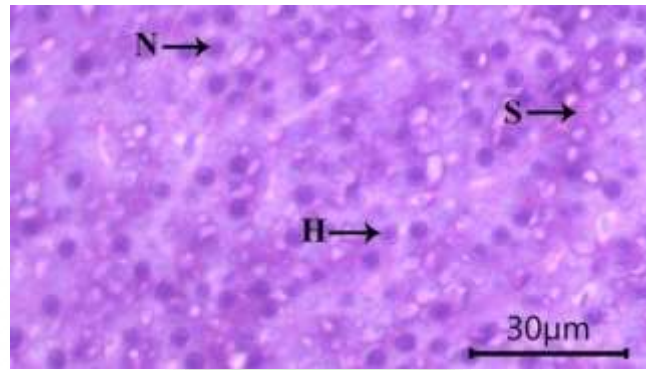


Gambar IV. 2 Grafik bobot ikan zebra (*Brachydanio rerio*) selama Uji LC50-96 Jam

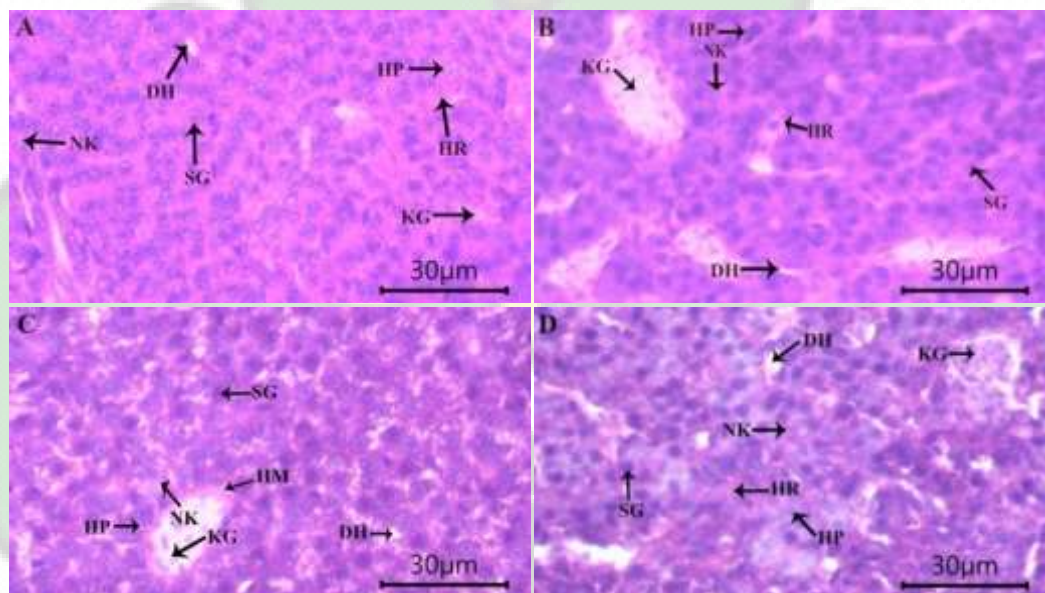
Berdasarkan analisis statistik bobot ikan zebra berbeda signifikan ( $p < 0.05$ ) pada perlakuan kontrol jam ke 96, selebihnya tidak berbeda signifikan ( $p > 0.05$  atau  $p = 0,05$ ).

#### IV.1.3 Histopatologi

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan pada jaringan hati ikan pada perlakuan kontrol dan pada ikan yang terpapar limbah cair kelapa sawit. Struktur jaringan hati pada perlakuan kontrol tidak mengalami kerusakan (normal), dengan sel hepatosit yang tersusun rapat dikelilingi oleh sinusoid, mengandung sitoplasma, dan inti berbentuk bulat (Gambar IV.3). Sebaliknya, perubahan struktur jaringan hati ikan pada konsentrasi akut teridentifikasi adanya berbagai kerusakan yaitu kongesti, nekrosis, penciutan heptosit, hipertropi, dan degenerasi hidrofilik (gambar IV. 4 ABCD).



Gambar IV. 3 Histologi hati ikan zebra pada perlakuan kontrol. hepatosit (H), nukleus (N), dan sinusoid (S), perbesaran 400x.



Gambar IV. 4 Perubahan histologi jaringan hati ikan zebra (*Brachydanio rerio*) setelah paparan akut limbah cair kelapa sawit (5.156 mL/L). A. 24 jam, B. 48 jam, C. 72 jam, D. 96 jam, KG (kongesti), NK (*nekrosis*), SG (penciutan hepatosit), HP (hipertropi), HR (hemoragi), dan DH (degenerasi hidrofilik. Skala bar 30 µm, perbesaran 400x.

Histopatologi hati ikan zebra dievaluasi secara semi kuantitatif yang didasarkan pada luas skala kerusakan. Perubahan histopatologi pada setiap waktu pengamatan dapat diamati pada tabel IV.4.

Tabel IV. 3 Pengaruh limbah cair kelapa sawit terhadap perubahan struktur histologis hati ikan zebra (*Brachydanio rerio*) pada nilai  $lc_{50-96}$  jam (5.156 mL/L)

Jenis Kerusakan	Kontrol	LC <sub>50-96</sub> jam			
		Waktu pengamatan (Jam)			
		24	48	72	96
Nekrosis	-	+	+	++	+++
Hemoragi	-	+	++	+++	+++
Penciutan hepatosit	-	+	+	++	++
Kongesti	-	+	++	+++	+++
Hipertropi	-	+	++	++	+++
Degenerasi Hidrofilik	-	+	+	++	+++

Keterangan: + (Ringan), ++ (Sedang), dan +++ (Berat)

Struktur jaringan hati ikan pada perlakuan kontrol tidak teridentifikasi adanya kerusakan, sedangkan struktur jaringan ikan pada konsentrasi akut pada jam pengamatan ke-24 teridentifikasi adanya berbagai kerusakan yaitu nekrosis, hemoragi, penciutan hepatosit, kongesti, hipertropi, dan degenerasi hidrofilik pada tingkat ringan. Selanjutnya pada jam pengamatan ke 48 beberapa kerusakan seperti hemoragi, kongesti dan hipertropi semakin parah yaitu pada pada tingkat sedang, sedangkan kerusakan lainnya tetap seperti pengamatan sebelumnya. Kemudian pada jam pengamatan ke 72, hemoragi, kongesti, dan hipertropi bertambah pada tingkat berat, sedangkan nekrosis, penciutan hepatosit dan degenerasi hidrofilik meningkat pada tingkat sedang. Setelah itu pada jam pengamatan ke 96, nekrosis, hemoragi, kongesti, hipertropi, dan degenerasi hidrofilik pada tingkat berat, sedangkan penciutan hepatosit pada tingkat sedang.

#### IV.1 Pembahasan

Kandungan COD, TSS TS dan berbagai logam berat logam berat (Cd, Cu, Fe, dan Zn) dalam konsentrasi tinggi pada limbah cair kelapa sawit menjadi salah satu faktor yang berpotensi menyebabkan dampak akut pada organisme akuatik. Konsentrasi COD konsentrasi dalam jumlah tinggi di perairan telah menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen terlarut secara signifikan (Kurniati *et al.*, 2020) Penurunan kandungan oksigen akibat tingginya COD juga telah

dilaporkan terjadi akibat kontaminasi beberapa jenis limbah lainnya seperti limbah pengolahan pulp dan kertas (Abedinzadeh *et al.*, 2018), limbah tekstil (Gilpavas *et al.*, 2020) dan limbah peternakan (Gomes *et al.*, 2021).

Peningkatan kekeruhan perairan akibat materi tersuspensi (TSS) mempengaruhi proses masuknya sinar matahari ke dalam perairan. Kadar padatan yang tinggi menjadi faktor lingkungan berbahaya bagi perairan karena mempengaruhi kejernihan air dan penurunan fotosintesis (Scannell & Duffy, 2010). Pengukuran kecerahan di Perairan Bedono berkisar 0,36-0,58, dimana nilai tersebut tergolong rendah akibat banyaknya zat-zat padatan di perairan tersebut (Marhana *et al.*, 2019). Materi tersuspensi (TSS) berpotensi mengganggu kinerja organ pernapasan pada ikan (Muslich *et al.*, 2014; Angeles-Escobar *et al.*, 2021).

Keberadaan logam dinilai sangat berbahaya bagi organisme perairan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa keberadaan logam berat (Cd, Fe, Cu, dan Zn) dalam jumlah yang besar berdampak negatif pada fisiologi dan histopatologi ikan. Kandungan kadmium sebesar 6,5 mg/L dan 0,05 mg/L dapat menyebabkan abnormalitas pada darah ikan *Cyprinus carpio* seperti terjadinya hemolisis, kerusakan terhadap sel dan kromatin pada eritrosit (Witeska *et al.*, 2006). Tingginya konsentrasi ion Fe menyebabkan penurunan pada aktivitas enzim protease dari usus *Epinephelus fuscoguttatus*, menghambat pertumbuhan *Chlorella vulgaris* (Yasmin *et al.*, 2008; Rizky *et al.*, 2013). Paparan Cu dapat mempengaruhi ginjal *Oreochromis hypophthalmus* seperti pembengkakan glomerulus, pembengkakan tubulus, perlemakan tubulus, dan pembengkakan macula densa (Wagiman *et al.*, 2014). Penurunan kadar eritrosit sebesar 62,2% pada *Cyprinus carpio* akibat paparan Zn menyebabkan anemia (Syahrial *et al.*, 2013).

Paparan limbah cair kelapa sawit dapat mempengaruhi pertumbuhan ikan zebra (*Brachydanio rerio*) pada beberapa waktu pengamatan. Pengaruh tersebut diduga terjadi karena kandungan toksikan di dalamnya. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa kandungan limbah cair kelapa sawit dapat mempengaruhi pertumbuhan beberapa jenis ikan diantaranya menurunkan pertumbuhan mutlak dan laju pertumbuhan harian ikan patin (*Pangasius sp.*) (Amalia *et al.*, 2013), laju pertumbuhan bobot ikan nila (*Oreochromis niloticus*) (Zulfahmi *et al.*, 2017), dan

laju pertumbuhan benih *Oreochromis* sp (Syafriadiman, 2016). Selain limbah cair kelapa sawit, beberapa polutan lain juga dapat mempengaruhi pertumbuhan ikan secara signifikan antara lain paparan diazinon 60 EC terhadap pertumbuhan *Cyprinus carpio* L. (Kusriani *et al.*, 2012), dan insektisida diazinon terhadap pertumbuhan *Oreochromis mossambicus* (Suryani & Aunurahim, 2013),

Histopatologi hati ikan akibat paparan limbah cair kelapa sawit ditandai dengan keberadaan kongesti yang terjadi pada sel hati, diduga karena adanya penyumbatan pembuluh darah oleh logam berat (Triadayani *et al.*, 2010; Jamin & Erlangga, 2016). Kongesti merupakan pembendungan darah yang disebabkan karena gangguan sirkulasi yang mengakibatkan kekurangan oksigen dan zat gizi (Triadayani *et al.*, 2009). Kongesti menyebabkan tekanan pada pembuluh darah semakin intens sehingga akan menyebabkan pembuluh darah rusak sehingga menimbulkan pendarahan. Menurut Susanti *et al.*, (2016) hemoragi disebabkan oleh pembendungan darah (kongesti) yang terjadi semakin parah menyebabkan pembuluh darah pecah (Susanti *et al.*, 2016). Selanjutnya, hipertropi pada sel hati disebabkan oleh pembengkakan sel (vakuolisasi) sehingga sitoplasma membesar. Terjadinya vakuolisasi akan menekan inti sel yang lama kelamaan akan menyebabkan *shrinkage of hepatocyte* (penciutan pada inti sel) (Zulfahmi *et al.*, 2014). Vakuolisasi juga menyebabkan degenerasi hidrofilik, dimana terdapat ruang-ruang kosong pada hepatosit (Triadayani *et al.*, 2010). Pembengkakan sel yang terjadi akan menyebabkan pecahnya membran plasma yang berujung pada nekrosis (kematian sel). Nekrosis terjadi karena penimbunan lemak dalam jumlah yang banyak yang diawali dengan peradangan hati (Nurdin, 2008).

Sebagian besar logam berat yang masuk ke dalam tubuh ikan akan terakumulasi di dalam organ hati (Yulaipi, 2013). Hati merupakan organ utama yang berfungsi sebagai detoksifikator polutan (Mishra & Mohanty, 2008). Namun demikian, akumulasi polutan (termasuk logam) dalam jumlah besar akan menghambat/menghentikan aktivitas detoksifikasi, biotransformasi dan penyimpanan glikogen yang berakibat pada rusaknya jaringan hati dan gangguan fisiologis pada bagian tubuh lainnya (Muliari *et al.*, 2019; Ezemonye & Ogbomida, 2010; Borges *et al.*, 2018). Gangguan fungsi hati akibat paparan akut logam berat pada konsentrasi akut dapat diindikasikan melalui mellathionin,



*alkaline phosphatase* (ALP) *alanine aminotransferase* (ALT), *aspartate aminotransferase* (AST) dan sitokrom P450 dan perubahan histologi jaringan hati (Muliari *et al.*, 2019).

Dalam penelitian ini terjadi perubahan histologis jaringan hati ikan zebra akibat kontaminasi limbah cair kelapa sawit dalam konsentrasi akut. Hasil tersebut juga pernah dilaporkan pada sejumlah ikan yang terpapar logam berat Cd, Cu, Fe dan Zn pada konsentrasi akut meliputi ikan *Hampala macrolepidota* (Azis *et al.*, 2018), *Oreochromis hypophthalmus* (Wagiman *et al.*, 2014) dan *Oreochromis niloticus* (Sugiantari *et al.*, 2022). Gangguan fungsi hati akan berdampak pada terganggunya berbagai proses fisiologi lainnya seperti vitelogenesis (Zulfahmi *et al.*, 2015), sintesis empedu (Zulfahmi *et al.*, 2014), osmoregulasi, dan ekskresi (Muliari *et al.*, 2019). Disamping itu, akumulasi polutan akan mulai menyebar ke berbagai organ vital lainnya seperti otak, jantung dan ginjal yang dapat memicu disfungsi organ dan menyebabkan kematian (Zulfahmi *et al.*, 2015; Zulfahmi *et al.*, 2014; dan Muliari *et al.*, 2019).



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengaruh limbah cair kelapa sawit terhadap panjang ikan zebra (*Brachydanio rerio*) berpengaruh signifikan pada perlakuan kontrol dan konsentrasi akut pada jam ke 48, 72 dan 96, sedangkan bobot ikan zebra berpengaruh signifikan pada perlakuan kontrol pada waktu pengamatan 96 jam.
2. Kondisi histopatologi hati ikan zebra (*Brachydanio rerio*) yang dipapar limbah cair kelapa sawit pada konsentrasi akut menyebabkan kongesti, hemoragi, hipertropi, *shrinkage of hepatocyte*, degenerasi hidrofilik, dan nekrosis.

#### V.2 Saran

Peneliti selanjutnya disarankan untuk meneliti pertumbuhan panjang dan bobot ikan zebra (*Brachydanio rerio*), serta histopatologi hati yang dipapar limbah cair kelapa sawit pada konsentrasi yang lebih bervariasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abedinzadeh, N., Shariat, M., Monavari, S. M. and Pendashteh, A. 2018. Evaluation of Color and COD Removal by Fenton from Biologically (SBR) Pre-treated Pulp and Paper Wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, 116, pp. 82–91. doi: 10.1016/j.psep.2018.01.015.
- Adikara, I. P. A., Winaya, I. B. O., & Sudira, I. W. 2013. Studi Histopatologi Hati Tikus Putih (*Rattus norvegicus*) yang Diberi Ekstrak Etanol Daun Kedondong (*Spondias Dulcis G. Forst*) Secara Oral. *Buletin Veteriner Udayana*. 5(2): 107-113. Diakses 23 Maret 2022, dari <https://ocs.unud.ac.id/index.php/buletinvet/article/download/7195/5447>.
- Adriyani, R., & Mahmudiono, T. 2009. Kadar Logam Berat Cadmium, Protein dan Organoleptik pada Daging *Bivalvia* dan Perendaman Larutan Asam Cuka. *J. Penelit. Med. Eksakta*, 8(2), 152-161. Diakses 21 Juli 2022, dari [https://www.researchgate.net/profile/Trias-Mahmudiono/publication/309319061\\_Kadar\\_logam\\_berat\\_cadmium\\_protein\\_dan\\_organoleptik\\_pada\\_daging\\_bivalvia\\_dan\\_perendaman\\_larutan\\_asam\\_cuka/links/5809972808ae993dc050a511/Kadar-logam-berat-cadmium-protein-dan-organoleptik-pada-daging-bivalvia-dan-perendaman-larutan-asam-cuka.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Trias-Mahmudiono/publication/309319061_Kadar_logam_berat_cadmium_protein_dan_organoleptik_pada_daging_bivalvia_dan_perendaman_larutan_asam_cuka/links/5809972808ae993dc050a511/Kadar-logam-berat-cadmium-protein-dan-organoleptik-pada-daging-bivalvia-dan-perendaman-larutan-asam-cuka.pdf).
- Ahmed, M. K., Habibullah-Al-Mamun, M., Parvin, E., Akter, M. S., & Khan, M. S. 2013. Arsenic Induced Toxicity and Histopathological Changes in Gill and Liver Tissue of Freshwater Fish, Tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Experimental and Toxicologic Pathology*, 65(6), 903-909. <https://doi.org/10.1016/j.etp.2013.01.003>.
- Alif, A., Syawal, H., & Riauaty, M. 2021. Histopatologi Hati dan Usus Ikan Jambal Siam (*Pangasionodon hypophthalmus*) yang Diberi Pakan Mengandung Ekstrak Daun *Rhizophora apiculata*. *Ilmu Perairan (Aquatic Science)*, 9(2), 152-161.s. <http://dx.doi.org/10.31258/jipas.9.2.p.152-161>.
- Al-Jubouri, Q., Al-Nuaimy, W., Al-Tae, M., & Young, I. 2017. An Automated Vision System for Measurement of Zebrafish Length Using Low-Cost Orthogonal Web Cameras. *Aquacultural Engineering*. 78: 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.07.003>.
- Amalia R., Marsi., dan Ferdinand. 2013. Kelangsungan Hidup, Pertumbuhan, dan Tingkat Konsumsi Oksigen Ikan Patin (*Pangasius sp.*) yang Terpapar Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia*. Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya: Ogan Ilir. Diakses 23 Maret 2022, dari <https://repository.unsri.ac.id/9423/>.
- Angeles-Escobar, B. E., da Silva, S. M. B. C. and Severi, W. 2021. Growth, Red Blood Cells, and Gill Alterations of Red Pacu (*Piaractus brachypomus*)

Fingerlings by Chronic Exposure to Different Total Suspended Solids in Biofloc. *Journal of the World Aquaculture Society*, 53(3), pp. 652–668. doi: 10.1111/jwas.12837.

Asnita. 2011. Identifikasi Cacing Parasitik dan Perubahan Histopatologi pada Ikan Bunglon Batik Jepara (*Cryptocentrus leptocephalus*) dari Kepulauan Seribu. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor. Tidak dipublikasikan.

Atima, W. 2015. BOD dan COD Sebagai Parameter Pencemaran Air dan Baku Mutu Air Limbah. BIOSEL (Biology Science and Education): *Jurnal Penelitian Science dan Pendidikan*. 4(1): 83-93. <http://dx.doi.org/10.33477/bs.v4i1.532>.

Azis, M. N., Herawati, T., Anna, Z. and Nurruhwati, I. 2018. Pengaruh Logam Kromium (Cr) Terhadap Histopatologi Organ Insang, Hati dan Daging Ikan di Sungai Cimanuk Bagian Hulu Kabupaten Garut. *Jurnal Perikanan Kelautan*, 9(1), pp. 119–128. ISSN: 2088-3137.

Britanica. 2020. *Oil Palm*. Diakses pada tanggal 17 Januari 2021 di <https://www.britannica.com/plant/oil-palm>.

Cahyani, M. D., Nuraini, R. A. T., & Yulianto, B. 2012. Studi Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Air, Sedimen, dan Kerang Darah (*Anadara Granosa*) di Perairan Sungai Sayung dan Sungai Gonjol, Kecamatan Sayung, Kabupaten Demak. *Journal of Marine Research*, 1(2), 73-79. <https://doi.org/10.14710/jmr.v1i2.2022>.

Darmono. 1995. *Logam Dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia. ISBN: 979-456150-3.

Das, S., & Mukherjee, D. 2013. Effect of Cadmium Chloride on Secretion Of 17 $\beta$ -Estradiol by The Ovarian Follicles Of Common Carp, *Cyprinus carpio*. *General and comparative endocrinology*, 181, 107-114. <https://doi.org/10.1016/j.ygcn.2012.10.010>.

Destya, Q., Elystia, S., & Yenie, E. 2016. Uji Toksisitas Akut Limbah Cair Kelapa Sawit terhadap Ikan Patin (*Pengasius Sp.*) dengan Metode Renewal Test. *Doctoral dissertation*, Riau University. Diakses 28 Januari 2021, dari <https://media.neliti.com/media/publications/202418-uji-toksisitas-akut-limbah-cair-kelapa-s.pdf>.

Elystia, S. 2014. Pengolahan Kandungan Cod Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit oleh *Typha Latifolia* dengan Metode Fitoremediasi. *Jurnal Dampak*. 11(2): 88-95. <https://doi.org/10.25077/dampak.11.2.88-95.2014>.

Engeszer, R.E., Patterson, L.B., Rao, A.A. et al. 2007. Zebrafish in The Wild: A Review of Natural History and New Notes from The Field. *Zebrafish*. 4(1): 21-40. <https://doi.org/10.1089/zeb.2006.9997>.

- Ezemonye, L., & Ogbomida, T. E. 2010. Histopathological Effects of Gammalin 20 on African Catfish (*Clarias gariepinus*). *Applied and Environmental Soil Science*, 2010. Diakses 28 Maret 2022, dari <https://www.hindawi.com/journals/aess/2010/138019/>.
- Fauzi, Y., Widyastuti, Y. E., Satyawibawa, I., & Paeru, R. H. 2012. *Kelapa sawit*. Jakarta: Penebar Swadaya Grup. ISBN: 978-979-002-530-1.
- Ferreira, D. Q., Ferraz, T. O., Araújo, R. S., Cruz, R. A. S., Fernandes, C. P., Souza, G. C., & Oliveira, A. E. M. 2019. *Libidibia ferrea* (Jucá), A Traditional Anti-Inflammatory: A Study of Acute Toxicity in Adult and Embryos Zebrafish (*Danio rerio*). *Pharmaceuticals*. 12(4): 175. <https://doi.org/10.3390/ph12040175>.
- Ghiasi, F., Mirzargar, S. S., Badakhshan, H., & Shamsi, S. 2010. Lysozyme in Serum, Leukocyte Count and Phagocytic Index in *Cyprinus carpio* under the Wintering Conditions. *Journal of fisheries and Aquatic Science*, 5(2), 113-119. ISSN: 1416-4927.
- GilPavas, E. and Correa-Sanchez, S. 2020. Assessment of the Optimized Treatment of Indigo-Polluted Industrial Textile Wastewater by A Sequential Electrocoagulation-Activated Carbon Adsorption Process. *Journal of Water Process Engineering*, 36. doi: 10.1016/j.jwpe.2020.101306.
- Harini, C. P., dan Abdul, M., 2015. Teknik Dasar Histologi pada Ikan Gurami (*Osporonemus gouramy*). *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 7(2). <http://dx.doi.org/10.20473/jipk.v7i2.11199>.
- Harteman, E. 2013. Pemantauan Logam Berat pada Histologi Ikan Badukang (*Arius Caelatus Valenciennes* 1840) Muara Sungai Kahayan dan Katingan, Kalimantan Tengah. *Jurnal Ilmu Hewani Tropika (Journal of Tropical Animal Science)*, 2(1), 21-26. Diakses 22 Juli 2022, dari <https://unkripjournal.com/index.php/JIHT/article/view/28>.
- Haryanti, A., Norsamsi, N., Sholiha, P. S. F., & Putri, N. P. 2014. Studi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit. *Konversi*. 3(2): 57-66. Dikases 24 Februari 2021, dari <http://konversi.ulm.ac.id/index.php/konversi/article/view/52>.
- Hatta M. 2014. Hubungan antara Parameter Oseanografi dengan Kandungan Klorofil-A Pada Musim Timur di Perairan Utara Papua. *Jurnal Ilmu Kelautan dan Perikanan*, 24(3), 29-39. <https://doi.org/10.35911/torani.v24i3.235>.
- Herniwati, H. 2012. Uji Kelayakan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Pt. Perkebunan Nusantara Ii Prafi-Manokwari. *Doctoral dissertation*, Universitas Negeri Papua. Diakses 24 Februari 2021, dari

<https://www.britannica.com/plant/oil-palm>.

Husni, H., & Esmiralda, M. T. 2012. Uji Toksisitas Akut Limbah Cair Industri Tahu Terhadap Ikan Mas (*Cyprinus carpio Lin*). *Jurnal Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas*: Padang. Diakses 23 Maret 2022, dari [http://repository.unand.ac.id/17022/1/Uji\\_Toksisitas\\_Akut\\_Limbah\\_Cair\\_Industri\\_Tahu.pdf](http://repository.unand.ac.id/17022/1/Uji_Toksisitas_Akut_Limbah_Cair_Industri_Tahu.pdf).

ITIS Report. 2019. *Denio rerio*. Diakses pada tanggal 17 Januari 2021 pada [https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=163699#null](https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=163699#null).

Jamin, dan Erlangga. 2016. Pengaruh Insektisida Golongan Organofosfat Terhadap Benih Ikan Nila Gift (*Oreochromis niloticus*, Bleeker): Analisis Histologi Hati dan Insang. *J.Acta Aquatica*, 3(2): 46-53. <https://ojs.unimal.ac.id/acta-aquatica/article/view/324>.

Jamin, J., & Erlangga, E. 2016. Pengaruh Insektisida Golongan Organofosfat terhadap Benih Ikan Nila Gift (*Oreochromis niloticus*, Bleeker): Analisis Histologi Hati dan Insang. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 3(2), 46-53. <https://doi.org/10.29103/aa.v3i2.324>.

Jaya, B., Agustriani, F., & Isnaini, I. 2013. Laju Pertumbuhan dan Tingkat Kelangsungan Hidup Benih Kakap Putih (*Lates calcarifer Bloch*) dengan Pemberian Pakan yang Berbeda. *Maspari Journal*, 5(1): 56-63. ISSN: 2597-6797.

Juanda, S. J., & Edo, S. I. 2018. Histopatologi Insang, Hati dan Usus Ikan Lele (*Clarias Gariepinus*) di Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur (Gill, Liver And Gut's Histopathology of Catfish (*Clarias Gariepinus*) in Kota Kupang, East West Nusa. *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 14(1), 23-29. <https://doi.org/10.14710/ijfst.14.1.23-29>.

Kurnianti, L. Y., Haeruddin and Rahman, A. 2020. Analisis Beban dan Status Pencemaran BOD dan COD di Kali Asin, Semarang. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 4(3), pp. 379-388. doi: 10.21776/ub.jfmr.2020.004.03.10.

Kusmiyati, K., Lystanto, P. A., & Pratiwi, K. 2012. Pemanfaatan Karbon Aktif Arang Batubara (KAAB) untuk Menurunkan Kadar Ion Logam Berat  $Cu^{2+}$  dan  $Ag^{+}$  pada Limbah Cair Industri. *Reaktor*, 14(1): 51-60. ISSN: 2407-5973.

Kusriani, K., Widjanarko, P., & Rohmawati, N. 2012. Uji Pengaruh Sublethal Pestisida Diazinon 60 EC terhadap Rasio Konversi Pakan (FCR) dan Pertumbuhan Ikan Mas (*Cyprinus carpio L.*). *Jurnal Penelitian Perikanan*, 1(1), 36-42. ISSN: 2337-621X

- Laimeheriwa, B. M., Wahyudi, F., Mosse, J. W., Loupatty, J. W., Tuhumury, S. F., & Soumokil, A. W. 2019. Evaluasi Kinerja Morfometrik Ikan Bubara, *Caranx Iqnobilis* pada Keramba Jaring Apung di Perairan Teluk Ambon Dalam. in *Prosiding Seminar Nasional Kelautan dan Perikanan UNPATTI*. 1(1): 237-248. <https://doi.org/10.30598/semnaskp-24>.
- Lenntech. 2022. *Magnesium and Water: Reaction Mechanisms, Environmental Impact and Health Effects*. Diakses 22 Juli 2022 di <https://www.lenntech.com/periodic/water/magnesium/magnesium-and-water.htm>.
- Loomis, TA. 1978. *Toksikologi Dasar*. Penerjemah Donatus. Semarang: IKIP. ISBN: 0812106474.
- Lubis, R. E., & Agus Widanarko, S. P. 2011. *Buku Pintar Kelapa Sawit*. Jakarta: AgroMedia. ISBN: 979-006-380-6.
- Manalu, J. 2012. Model Pengelolaan Teluk Youtefa Terpadu Secara Berkelanjutan. *Disertasi*. Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. ISBN: 978-979-482-7.
- Mandia, S., Marusin, N., & Santoso, P. 2013. Analisis Histologis Ginjal Ikan Asang (*Osteochilus hasseltii*) di danau Maninjau dan Singkarak, Sumatera Barat. *Jurnal Biologi UNAND*, 2(3). ISSN: 2655-9587.
- Marhana, T., Muskananfolo, M. R., & Febrianto, S. (2019). Analisis Kondisi Perairan Ditinjau dari Kandungan Klorofil-A, Nitrat, Fosfat dan Total Suspended Solid (Tss) di Perairan Bedono Demak. Analysis of Water Conditions Based on Chlorophyll-a, Nitrate, Phosphate and Total Suspended Solid (TSS) in The Coastal Waters of Bedono Demak. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 8(3), 250-259. <https://doi.org/10.14710/marj.v8i3.24263>.
- Martínez-Sales M, García-Ximénez F, Espinós FJ. 2015. Zebrafish As A Possible Bioindicator of Organic Pollutants with Effects on Reproduction in Drinking Waters. *Journal of Environmental Sciences*. 33: 254-60. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2014.11.012>.
- Maruli, P. 2011. *Sukses Membuka Kebun Kelapa Sawit*. Bogor: Penebar Swadaya. Isbn: 978-979-002-482-3.
- Masfiah, I., Andayani, S., & Suprastyani, H. 2018. Pengaruh Pemberian Ekstrak Kasar Kulit Buah Naga (*Hylocereus Costaricensis*) terhadap Histopatologi Hati Ikan Nila (*Oreochromis Niloticus*) yang Terinfeksi *Aeromonas Hydrophila*. *JFMR (Journal of Fisheries and Marine Research)*, 2(3), 149-159. <http://dx.doi.org/10.21776/ub.jfmr.2018.002.03.2>.

- Mathan, R., Kurun thachalam, SK., Priya, M., (2010). Alterations In Plasma Electrolyte Levels of An Freshwater Fish (*Cyprinus carpio*) Exposed to Acidic pH. *Toxicological Environmental and Chemistry*. 92(1): 149– 157. <https://doi.org/10.1080/02772240902810419>.
- Maulidiyah, F. A. 2015. Pengaruh Pemberian Kombinasi Fraksi Metanol Biji Saga (*Abrus Precatorius*) dengan Fraksi Kloroform Biji Pepaya (*Carica Papaya*) terhadap Histopatologi Hati pada Tikus Jantan. *Skripsi*. Universitas Jember. Diakses 23 Februari 2021, dari <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/64941>.
- Megawati, C., Yusuf, M., & Maslukah, L. 2014. Sebaran Kualitas Perairan Ditinjau dari Zat Hara, Oksigen Terlarut dan ph di Perairan Selat Bali Bagian Selatan. *Journal of Oceanography*. 3(2): 142-150. <https://doi.org/10.1080/02772240902810419>.
- Mishra, A. K. and Mohanty, B. 2008. Acute Toxicity Impacts of Hexavalent Chromium On Behavior and Histopathology of Gill, Kidney and Liver of The Freshwater Fish, *Channa punctatus* (Bloch). *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 26(2), pp. 136–141. doi: 10.1016/j.etap.2008.02.010.
- Muliari, M., Zulfahmi, I., Akmal, Y., Karja, N. W. K., Nisa, C. and Sumon, K. A. 2019. Effects of Palm Oil Mill Effluent on Reproductive Hormone of Female Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758). *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 7(11), pp. 1035–1041. doi: 10.17582/journal.aavs/2019/7.11.1035.1041.
- Muliari, M., Zulfahmi, I., Akmal, Y., Karja, N. W. K., Nisa, C., Sumon, K. A., & Rahman, M. M. 2020. Toxicity of Palm Oil Mill Effluent on The Early Life Stages of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus 1758). *Environmental Science and Pollution Research*. 1-8. Diakses 22 Februari 2022, dari <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11356-020-09410-y>.
- Muslih, K., Adiwilaga, E. M. and Adiwibowo, S. 2014. Pengaruh Penambangan Timah terhadap Keanekaragaman Ikan Sungai dan Kearifan Lokal Masyarakat di Kabupaten Bangka. *LIMNOTEK*, 21(1), pp. 52–63. Diakses 10 Januari 2022, dari <http://www.limnotek.or.id/index.php/limnotek/article/view/56>.
- National Resource Conservation Service. 2021. *Classification*. Diakses pada tanggal 17 Januari 2021 di <https://plants.usda.gov/java/ClassificationServlet?source=display&classid=ELGU>.
- Nazarudin, Z., 2018. Segmentasi Citra untuk Menentukan Skor Kerusakan Hepar



Secara Histologis, *Thesis*. Program Pascasarjana. Universitas Islam Indonesia. Diakses 20 Februari 2021, dari <http://hdl.handle.net/123456789/5380>.

- Ngafifuddin, M., Sunarno, S., & Susilo, S. 2017. Penerapan Rancang Bangun pH Meter Berbasis Arduino pada Mesin Pencuci Film Radiografi Sinar-x. *Jurnal Sains Dasar*. 6(1): 66-70. ISSN: 2443-1273.
- Nurdin, M., 2008. Pengaruh Pestisida Paraquat Noxone 297As terhadap Kelangsungan Hidup, Pertumbuhan dan Histologi Hati Benih Ikan Mas (*Cyprinus carpio*). *Skripsi*. Jurusan Budidaya Perairan. Fakultas Pertanian. Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Omelda JFL, Vazquez FJS. 2011. Thermal Biology of Zebrafish (*Danio rerio*). *Journal of thermal biologi*. 36(32): 91-104. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2008.12.012>
- Osman, N. A., Ujang, F. A., Roslan, A. M., Ibrahim, M. F., & Hassan, M. A. (2020). The effect of Palm Oil Mill Effluent Final Discharge on The Characteristics of *Pennisetum purpureum*. *Scientific Reports*. 10(1): 1-10. Diakses 20 Februari 2021, dari <https://www.nature.com/articles/s41598-020-62815-0>.
- Palar H. 2008. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta. ISBN: 979-518-595-0.
- Palar, H. 2012. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Jakarta: Rineka Cipta. ISBN: 979-518-595-0.
- Parhusip, B. S., Lestari, R. P., & Andriantoro, A. 2020. Uji Toksisitas Akut Limbah Insulasi Fiber Keramik terhadap *Daphnia sp*. *Ecolab*. 14(1): 1-10. <https://doi.org/10.20886/jklh.2020.14.1.1-10>.
- Parulian, A. 2009. Monitoring dan Analisis Kadar Aluminium (Al) dan Besi (Fe) Pada Pengolahan Air Minum PDAM Tirtanadi Sunggal. Medan : Pascasarjana. Diakses 22 Juli 2022, dari <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/34434>.
- Pour, H. R., Mirghaffari, N., Marzban, M., & Marzban, A. 2014. Determination of Biochemical Oxygen Demand (BOD) without Nitrification and Mineral Oxidant Bacteria Interferences By Carbonate Turbidimetry. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 5(5), 90-95. ISSN: 0975-8585.
- Putra, Y. D., & Fitria, L. 2015. Uji Toksisitas Akut Limbah Cair Rumah Makan terhadap Ikan Mas (*Cyprinus carpio L.*). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*. 3(1). ISSN: 2622-2884.

- Rachmah, Y. N. (2020). Uji Toksisitas Akut Linear Alkylbenzene Sulfonate (Las) dan Timbal (Pb) terhadap Ikan Mas (*Cyprinus carpio L*). *Doctoral dissertation*, UIN Sunan Ampel Surabaya. Diakses 19 Maret 2022, dari <http://digilib.uinsby.ac.id/42443/>.
- Rajini, A., Revathy, K., & Selvam, G. 2015. Histopathological Changes in Tissues of *Danio Rerio* Exposed to Sub Lethal Concentration Of Combination Pesticide. *Indian Journal of Science and Technology*. 8(18): 1-12. ISSN: 9074-5645.
- Reed, B., Jennings, M. 2010. *Guidance on The Housing and Care of Zebrafish (Danio rerio)*. Research Animals Department, Science Group, RSPCA, West Sussex, 62. *Record Number*: 20133283946.
- Responsible Seafood Advocate. 2015. *Calcium and Magnesium Use in Aquaculture*. Diakses 22 Juli 2022 di <https://www.globalseafood.org/advocate/calcium-and-magnesium-use-in-aquaculture/>.
- Rizky, Y. A. Pengaruh Penambahan Fe (Ii) terhadap Produksi Klorofil dan Potensi Hidrogen yang Dihasilkan pada Fitoplankton *Chaetoceros calcitrans*, *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella salina*, dan *Porphyridium cruentum*. Diakses 25 Maret 2022, dari <http://digilib.unhas.ac.id/>.
- Roem, M., Laga, A., Listina, I., Rukmana, I., & Astriani, K. 2016. Studi Parameter Oseanografi Fisik Perairan Pulau Derawan. *Jurnal Harpodon Borneo*, 9(2). <https://doi.org/10.35334/harpodon.v9i2.171>.
- Rubinstein, A.L. 2006. Zebrafish Assays for Drug Toxicity Screening. *Expert Opin Drug Metab Toxicol*. 2(2): 231-40. <https://doi.org/10.1517/17425255.2.2.231>.
- Sabullah, M.K., Shukor, M.Y., Sulaiman, M.R., Shamaan, N.A., Syed, M.A., Khalid, A., & Ahmad, S.A. 2014. The Effect of Copper on the Ultrastructure of *Puntius javanicus* Hepatocyte. *Australian Journal of Basic and Applied Science*, 8(15), 245-51. <https://doi.org/10.1155/2014/571094>.
- Salmin. 2005. Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan. *Oseana*. XXX(3).21-26. Diakses 22 Juli 2022, dari [http://oseanografi.lipi.go.id/dokumen/oseana\\_xxx\(3\)21-26.pdf](http://oseanografi.lipi.go.id/dokumen/oseana_xxx(3)21-26.pdf).
- Sandro, S. R., Lestari, S., & Purwiyanto, A. I. S. 2013. Analisa Kandungan Kadar Logam Berat pada Daging Kepiting (*Scylla serrata*) di Perairan Muara Sungai Banyuasin. *Fishtech*. 2(1): 46-52. Diakses 25 Maret 2022, dari <https://media.neliti.com/media/publications/61133-ID-analisa-kandungan-kadar-logam-berat-pada.pdf>.

- Santoso, A. D. 2018. Keragaan Nilai DO, BOD dan COD di Danau Bekas Tambang Batubara Studi Kasus pada Danau Sangatta North PT. KPC di Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 89-96. Diakses 22 Juli 2022, dari <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1568821&val=4561&title=Keragaan%20Nilai%20DO%20BOD%20dan%20COD%20di%20Danau%20Bekas%20Tambang%20Batubara%20Studi%20Kasus%20pada%20Danau%20Sangatta%20North%20PT%20KPC%20di%20Kalimantan%20Timur>.
- Sari, P. K., Lintong, P. M., & Loho, L. L. 2015. Efek Pemberian Anabolik Androgenik Steroid Injeksi Dosis Rendah dan Tinggi terhadap Gambaran Histopatologi Hati dan Otot Rangka Tikus Wistar (*Rattus novvergicus*). *eBiomedik*. 3(1). <https://doi.org/10.35790/ebm.3.1.2015.7503>.
- Sari, R. P., Putra, R. M. and Windarti. 2016. Gill Structure of *Pangasius Polyuranodon* from Up and Down Stream of Siak River. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Riau*, 3(1), pp. 1–10. Diakses 25 Maret 2022, dari <https://media.neliti.com/media/publications/186194-ID-none.pdf>.
- Sari, W., Okavia, I. W., Ceriana, R., & Sunarti, S. (2017). Struktur Mikroskopis Hati Ikan Seurukan (*Osteochilus vittatus*) dari Sungai Krueng Sabee Kabupaten Aceh Jaya yang Tercemar Limbah Penggilingan Bijih Emas. *BIOTIK: Jurnal Ilmiah Biologi Teknologi dan Kependidikan*, 4(1), 33-40. Diakses 01 April 2022, dari <https://www.jurnal.ar-raniry.ac.id/index.php/biotik/article/view/1068>.
- Sastrosayono, I. S. 2003. *Budi daya kelapa sawit*. Jakarta: AgroMedia. ISBN: 9789793357621.
- Scannell, W.P.K. and Duffy, I.K. 2007. Effects of Total Dissolved Solids on Aquatic Organisms: A Review of Literature and Recommendation for Salmonid Species. Diakses 25 Maret 2022, dari <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.483.218>.
- Science for A Changing world. 2020. *Biological Oxygen Demand and Water*. diakses 17 Januari 2021, dari [https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/biological-oxygen-demand-bod-and-water?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/biological-oxygen-demand-bod-and-water?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects).
- Sentosa, A. A., & Wijaya, D. 2016. Potensi Invasif Ikan Zebra Cichlid (*Amatitlania nigrofasciata* Günther, 1867) di Danau Beratan, Bali Ditinjau dari Aspek Biologinya. *BAWAL Widya Riset Perikanan Tangkap*. 5(2): 113-121. <http://dx.doi.org/10.15578/bawal.5.2.2013.113-121>.
- Setyowati, A., D. Hidayati., P.D.N. Awik, dan N. Abdulgani. 2010. Studi Histopatologi Hati Ikan Belanak (*Mugil cephalus*) di Muara Sungai Aloo

Sidoarjo. *Skripsi*. Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam. ITS. Surabaya. Diakses 22 Juli 2022, dari <http://digilib.its.ac.id/ITS-Undergraduate-3100010041646/13520>.

Siregar, M. 2009. Pengaruh Berat Molekul Kitosan Nanopartikel Untuk Menurunkan Kadar Logam Besi (Fe) dan Zat Warna Pada Limbah Industri Tekstil Jeans. Medan: Pascasarjana–Universitas Sumatera Utara. Diakses 22 Juli 2022, dari <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/39671>.

Soleimaninanadegani, M. & Manshad, S. 2014. Enhancement of Biodegradation of Palm Oil Mill Effluents by Local Isolated Microorganisms. *International Scholarly Research Notices*, 2014, article ID 727049. Diakses 25 Januari 2021, dari <https://downloads.hindawi.com/archive/2014/727049.pdf>.

Spence, R., Gerlach, G., Lawrence, C., Smith, C. 2008. The Behavior and Ecology of The Zebrafish *Danio Rerio*. *Biological Reviews*. 83: 13-34. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2007.00030.x>.

Strzyzewska, E., J. Szarek., dan I. Babinska. 2016. Morphological Evaluation of The Gills as a Tool in The Diagnostics of Pathological Conditions in Fish and Pollution in The Aquatic Environment: a review. *Veterinarni Medicina*, 61(3): 123-132. 10.17221/8763-VETMED

Sugiantari, I. A. P., Sukmaningsih, A. A. S. A., & Wijana, I. M. S. (2022). Kajian Struktur Histologi Hati, Insang dan Lambung Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) di Danau Batur, Bangli. *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 7(1), 51-59.

Sugianti, Y., & Astuti, L. P. 2018. Respon Oksigen Terlarut Terhadap Pencemaran dan Pengaruhnya Terhadap Keberadaan Sumber Daya Ikan di Sungai Citarum. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 19(2): 203-212. ISSN: 2548-6101.

Sulistyorini, L., & Hikmawati, A. 2006. Perubahan Kadar Merkuri (Hg) pada Ikan Tongkol (*Euthynnus* sp) dengan Perlakuan Perendaman Larutan Jeruk Nipis dan Pemasakan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Unair*, 3(1), 3968. Diakses 21 Juli 2022, dari <https://www.neliti.com/publications/3968/perubahan-kadar-merkuri-hg-pada-ikan-tongkol-euthynnus-sp-dengan-perlakuan-peren>

Supriyantini, E., & Endrawati, H. 2015. Kandungan Logam Berat Besi (Fe) pada Air, Sedimen, dan Kerang Hijau (*Perna Viridis*) di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(1). <https://doi.org/10.14710/jkt.v18i1.512>.

Suryani, A., & Aunurohim, A. (2013). Paparan Sublethal Insektisida Diazinon 600 EC terhadap Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*). *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 2(2), E191-E196. <http://dx.doi.org/10.12962/j23373520.v2i2.4066>.

- Suryowati, A., D.H. Awik, Nurlita. 2012. Studi Histopatologi Hati Ikan Belanak (*Mughil cephalus*) di Muara Sungai Aloo Sidoarjo. *Jurnal Riset Akuakultur*. 2(1): 22-29. <http://dx.doi.org/10.15578/jra.12.3.2017.275-281>.
- Susanti, W., Indrawati, A., & Pasaribu, F. H. (2016). Kajian Patogenisitas Bakteri *Edwardsiella ictaluri* pada Ikan Patin *Pangasionodon hypophthalmus*. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 15(2), 99-107. <https://doi.org/10.19027/jai.15.99-107>.
- Syafriadiman, S. (2016). Toksisitas Limbah Pabrik Minyak Kelapa Sawit Terhadap Benih Ikan Nila Merah (*Oreochromis sp.*). *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 21(1), 25-32. <http://dx.doi.org/10.31258/jpk.21.1.25-32>.
- Syafriadiman, S. 2016. Toksisitas Limbah Pabrik Minyak Kelapa Sawit Terhadap Benih Ikan Nila Merah (*Oreochromis sp.*). *Jurnal Perikanan dan Kelautan*. 21(1): 25-32. ISSN: 2721-8902.
- Syahrial, A., Setyawati, T. R., & Khotimah, S. 2013. Tingkat Kerusakan Jaringan Darah Ikan Mas (*Cyprinus Carpio*) yang Dipaparkan pada Media Zn-Sulfat ( $ZnSO_4$ ). *Jurnal Protobiont*, 2(3). <http://dx.doi.org/10.26418/protobiont.v2i3.3892>.
- Tandy E, Hasibuan I, Harahap H. 2012. Kemampuan Adsorben Limbah Karet Alam terhadap Minyak Pelumas dalam Air. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 1(2). ISSN: 2337-4888.
- Triadayani, A. E., Aryawati, R., & Diansyah, G. 2009. Pengaruh Logam Timbal (Pb) terhadap Jaringan Hati Ikan Kerapu Bebek (*Cromileptes altivelis*). *Doctoral Dissertation*. Sriwijaya University. Diakses 28 Maret 2022, dari <https://repository.unsri.ac.id/69145/>.
- Ullrich, S. M., Tanton, T. W., & Abdrashitova, S. A. 2001. Mercury in The Aquatic Environment: A Review of Factors Affecting Methylation. *Critical Reviews in Environmental Science And Technology*, 31(3), 241-293. ISSN: 1064-3389.
- Van Dam, R. A., Hogan, A. C., McCullough, C. D., Houston, M. A., Humphrey, C. L., & Harford, A. J. (2010). Aquatic Toxicity of Magnesium Sulfate, and The Influence of Calcium, in Very Low Ionic Concentration Water. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(2), 410-421. Diakses 22 Juli 2022, dari <https://setac.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/etc.56>.
- Venditti, P., Di Stefano, L., dan Di Meo, S. 2013. Mitochondrial Metabolism of Reactive Oxygen Species. *Mitochondrion*. 13: 71-82. <https://doi.org/10.1016/j.mito.2013.01.008>.

- Viana, V. O., Hasibuan, S., Syafridiman. 2019. Uji Toksisitas Akut dan Uji Sub Lethal Limbah Cair Sawit pada Media Pemeliharaan Ikan Lele Sangkuriang (*Clarias Gariepinus*). *Faculty of Fisheries and Marine Resources Riau University*. 6: 1-13. Diakses 20 Januari 2021, dari <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/348/1/012032/meta>
- Wagiman, W., Yusfiati, Y., & Elvyra, R. (2014). Struktur Ginjal Ikan Selais (Ompokhypopthal musbleeker, 1846) Di Perairan Sungai Siak Kota Pekanbaru. *Doctoral dissertation*. Riau University. Diakses 22 Juli 2022, dari <https://www.neliti.com/publications/189025/struktur-ginjal-ikan-selais-ompokhypopthalmusbleeker-1846-di-perairan-sungai-sia>.
- Witeska, M., Jezierska, B., & Wolnicki, J. (2006). Respiratory And Hematological Response of Tench, *Tinca Tinca* (L.) to A Short-Term Cadmium Exposure. *Aquaculture International*, 14(1), 141-152. Diakses 01 April 2022, dari <https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-005-9020-3>.
- Wolfe JC, Wolfe MJ. 2005. A Brief Overview of Nonneoplastic Hepatic Toxicity in Fish. *Toxicologic Pathology*. 33, 75–85. Diakses 22 Juli 2022, dari <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1080/01926230590890187>.
- Wulandari, J. 2016. Analisis Kadar Logam Berat pada Limbah Industri Kelapa Sawit Berdasarkan Hasil Pengukuran Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). *Pillar of Physics*. 8(2). Diakses 20 Januari 2021, dari <http://ejournal.unp.ac.id/students/index.php/fis/article/download/2491/1991>.
- Xavier, J., & Reddy, J. 2019. Acute Toxicity Study of Ethanolic Extracts of Leaf and Fruit of Two Different Varieties of *M. Charantia* in *Danio rerio*. *Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Sciences*. 7(2): 102-109. ISSN: 2348-7658.
- Yacoub, M., Brand, T., & Schlueter, J. 2012.. Think Small: The Zebrafish as A Novel Disease Model in QCRC. In *Qatar Foundation Annual Research Forum*. 2012(1): 11-28. Diakses 20 Januari 2021, dari <http://dx.doi.org/10.5339/qfarf.2012.BMP116>.
- Yang, J., Li, W., Liu, Y., Wang, Q., Cheng, X. & Wei, F. 2018. Acute Toxicity Screening of Different Extractions, Components and Constituents of Polygonum Multiflorum Thunb on Zebrafish (*Danio Rerio*) Embryos in Vivo. *Biomedicine and Pharmacotherapy*. 99(1): 205- 213. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.01.033>.
- Yanthy, K.I., E. Sahara, K.S.P. Dewi. 2013. Spesiasi dan Bioavailabilitas Logam Tembaga (Cu) pada Berbagai Ukuran Partikel Sedimen di Kawasan Pantai Sanur. *Jurnal Kimia*. 7(2):141-152. ISSN: 2599-2740.

- Yasmin, A., Zeb, A., Khalil, A. W., Paracha, G. M. U. D., & Khattak, A. B. 2008. Effect of Processing on Anti-Nutritional Factors of Red Kidney Bean (*Phaseolus Vulgaris*) Grains. *Food and Bioprocess Technology*, 1(4), 415-419. Diakses 23 Februari 2022, dari <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-008-0125-3>.
- Yosmaniars, E., Supriyono dan Sutrisno. 2009. Toksisitas Letal Moluskisida Niklosamida Pada Benih Ikan Mas (*Cyprinus carpio*). *Jurnal Riset Akuakultur*. 4 (1): 85-93. ISSN: 2502-6534.
- Yudhi, A., 2014. Kajian Q Fever pada Sapi di Rumah Potong Hewan Cibinong: Histopatologi Organ Hati dan Paru-Paru. *Skripsi*. Fakultas Kedokteran Hewan Institut Pertanian Bogor. Diakses 19 Januari 2021, dari <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=ID2021105455>.
- Yulaipi, S. and Aunurohim 2013. Bioakumulasi Pb dan Hubungannya dengan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, 2(2), pp. 166–170. doi: 10.12962/j23373520.v2i2.3965.
- Yulaipi, S., & Aunurohim, A. 2013. Bioakumulasi Logam Berat Timbal (Pb) dan Hubungannya dengan Laju Pertumbuhan Ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*). *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 2(2), E166-E170. <http://dx.doi.org/10.12962/j23373520.v2i2.3965>.
- Zulfahmi I, Muliari, Mawaddah I, 2017. Toksisitas Limbah Cair Kelapa Sawit Terhadap Ikan Nila (*Oreochromis niloticus Linneus 1758*) dan Ikan Bandeng (*Chanos chanos Froskall 1755*). *Jurnal Agricola*. 7 (1): 44 – 45. ISSN: 2088-1673.
- Zulfahmi I, Ridwan A, dan Djamar TFL, 2014. Kondisi Biometrik Ikan Nila (*Oreochromis niloticus Linnaeus 1758*) yang Terpapar Merkuri. *Jurnal iktiologi Indonesia*.14 (1): 37- 48. <https://doi.org/10.32491/jii.v14i1.94>.
- Zulfahmi, I., Affandi, R. and Batu, D. T. F. L. 2014. Kondisi Biometrik Ikan Nila *Oreochromis niloticus* (Linnaeus 1758 ) yang Terpapar Merkuri. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 14(1), pp. 37–48. Diakses 20 Maret 2022, dari <http://jurnal-iktiologi.org/index.php/jii/article/view/94>.
- Zulfahmi, I., Akmal, Y., & Batubara, A. S. 2018. The Morphology of Thai Mahseer's for *Tambroides* (Bleeker, 1854) Axial Skeleton (*Ossa vertebrae*). *Jurnal Iktiologi Indonesia*. 18(2): 139-149. <https://doi.org/10.32491/jii.v18i2.329>.
- Zulfahmi, I., Muliari and Mawaddah, I. 2017. Toksisitas Limbah Cair Kelapa Sawit terhadap Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*, Linneus 1758) dan Ikan Bandeng (*Chanos chanos Froskall 1755*). *Agricola*, 7(1), pp. 44–55. <https://doi.org/10.35724/ag.v7i1.587>.

Zulfahmi, I., Muliari, M., & Akmal, Y. 2017. Indeks Hepatosomatik dan Histopatologi Hati Ikan Nila (*Oreochromis niloticus* L 1758) yang Dipapar Limbah Cair Kelapa Sawit. In *Prosiding SEMDI-UNAYA*. 1(1): 301-314. Diakses 05 April 2022, dari <http://ocs.abulyatama.ac.id/>.

Zulfahmi, I., Muliari, M., Akmal, Y. and Batubara, A. S. 2018. Reproductive Performance and Gonad Histopathology of Female Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus 1758) Exposed to Palm Oil Mill Effluent. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 44(4), pp. 327–332. doi: 10.1016/j.ejar.2018.09.003.






## LAMPIRAN

### Lampiran 1

### Surat Keterangan Pembimbing Skripsi




**SURAT KEPUTUSAN DEKAN FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN AR-RANIRY BANDA ACEH**  
 Nomor: B-394/Un.08/FST/KP.07.6/06/2021

**TENTANG**  
**REVISI SURAT KEPUTUSAN DEKAN NOMOR: B-131/Un.08/FST/KP.07.6/03/2021 TANGGAL 23 MARET 2021 TENTANG PENETAPAN PEMBIMBING SKRIPSI MAHASISWA PROGRAM STUDI BIOLOGI FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN AR-RANIRY BANDA ACEH**

**DEKAN FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN AR-RANIRY BANDA ACEH**

Menimbang	: a. bahwa untuk kelancaran bimbingan skripsi mahasiswa Prodi Biologi pada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry, maka dipandang perlu menunjuk pembimbing dimaksud; b. bahwa yang namanya tersebut dalam Surat Keputusan ini dianggap cakap dan mampu untuk ditetapkan sebagai pembimbing skripsi mahasiswa.
Mengingat	: 1. Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003, tentang Sistem Pendidikan Nasional; 2. Undang-undang Nomor 12 Tahun 2012, tentang Pendidikan Tinggi; 3. Peraturan Pemerintah Nomor 19 Tahun 2005 tentang Standar Nasional Pendidikan; 4. Peraturan Pemerintah Nomor 4 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Pendidikan Tinggi dan Pengelolaan Perguruan Tinggi; 5. Peraturan Presiden RI Nomor 64 Tahun 2013 Tentang Perubahan Institut Agama Islam Negeri Ar- Raniry Banda Aceh menjadi Universitas Islam Negeri Ar- Raniry Banda Aceh; 6. Peraturan Menteri Agama RI Nomor 12 Tahun 2014, tentang Organisasi dan Tata Kerja UIN Ar-Raniry Banda Aceh; 7. Keputusan Menteri Agama Nomor 12 Tahun 2020 Tentang Statuta UIN Ar- Raniry Banda Aceh; 8. Keputusan Rektor UIN Ar- Raniry Nomor 01 Tahun 2015 Tentang Pemberian Kuasa dan Pendelegasian Wewenang Kepada Para Dekan dan Direktur Program Pascasarjana dalam Lingkungan UIN Ar- Raniry Banda Aceh; 9. Surat Keputusan Rektor UIN Ar- Raniry Banda Aceh Nomor 80 Tahun 2020 Tentang Satuan Biaya Khusus Tahun Anggaran 2021 di Lingkungan UIN Ar- Raniry Banda Aceh;
Memperhatikan	: 1. Keputusan Sidang/Seminar Proposal/ Skripsi Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh tanggal 02 Maret 2021. 2. Pertimbangan Dosen Pembimbing tentang Ketepatan dalam Penulisan Gelar Dosen Pembimbing dan Judul Skripsi Mahasiswa Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
<b>MEMUTUSKAN</b>	
Menetapkan Kesatu	: Menunjuk Saudara: <b>1. Arif Sardi, M.Si</b> <b>2. Ilham Zulfahmi, M.Si</b> Sebagai Pembimbing I Sebagai Pembimbing II
Untuk membimbing Skripsi:	
Nama	: <b>Al Munawarah</b>
NIM	: <b>170703033</b>
Prodi	: <b>Biologi</b>
Judul Skripsi	: <b>Kondisi Histopatologi Hati Ikan Zebra (<i>Brachydanio rerio</i>) yang Dipapar Limbah Cair Kelapa Sawit pada Konsentrasi Akut</b>
Kedua	: Surat Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan sampai dengan akhir Semester Ganjil Tahun Akademik 2021/2022 dengan ketentuan bahwa segala sesuatu akan diubah dan diperbaiki kembali sebagaimana mestinya, apabila kemudian hari ternyata terdapat kekeliruan dalam penetapan ini.

Ditetapkan di Banda Aceh  
 Pada Tanggal 11 Juni 2021  
 Dekan,  
  
**Azhar Amsally**

**Tembusan:**  
 1. Rektor UIN Ar-Raniry di Banda Aceh,  
 2. Ketua Prodi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry;  
 3. Pembimbing yang bersangkutan untuk dimaklumi dan dilaksanakan,  
 4. Yang bersangkutan.

## Lampiran 2

## Surat Penelitian



**KEMENTERIAN AGAMA**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY BANDA ACEH**  
**PRODI BIOLOGI FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI**  
 Jl. Syeikh Abdul Rauf Kopelma Darussalam Banda Aceh  
 Telepon : 0651-7552921 - 7551857 Fax. 0651-7552922  
 Web : www.fst.ar-raniry.ac.id, Email: biologifst.ar-raniry@gmail.com

Nomor : B-483 /Un.08/Bio-FST/PP.00.9/10/2021  
 Lamp : 1 (Satu)  
 Perihal : Pengantar Pengajuan Pengujian Sampel

Kepada Yth :

**Kepala Laboratorium Histologi Fakultas  
 Kedokteran Hewan Universitas Syiah Kuala  
 Banda Aceh**

di-  
 Tempat

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Dengan hormat,

Sehubungan dengan akan dilaksanakan Penelitian mahasiswa kami Strata 1 (S1) Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry, maka kami memohon kepada Bapak/Ibu untuk dapat memberikan Izin Melakukan Pengujian Sampel Penelitian di Laboratorium Histologi Fakultas Kedokteran Universitas Syiah Kuala Banda Aceh.

Mahasiswa yang melakukan Pengujian Sampel adalah sebagai berikut:

NO	NAMA	NIM	HP	KET
1	Al Munawarah	170703033	082370546068	
2	Said Dedi Suherman	160703014	082217707756	

Demikianlah permohonan ini kami sampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.



Banda Aceh, 22 Oktober 2021  
 Ketua Prodi Biologi

*Lisa Rahmawati*  
**Lisa Rahmawati**

## Lampiran 3 : Dokumentasi Kegiatan



Gambar 1 : Aklimatisasi



Gambar 2 : Pengukuran panjang ikan



Gambar 3: Pengukuran berat ikan



Gambar 4: Dehidrasi dan clearing



Gambar 5 : Embedding



Gambar 6: Pemotongan

### DAFTAR BIAYA PENELITIAN

No	Barang/Jasa	Harga	Total Harga
1	Ikan zebra	Rp. 2.500 x 50	Rp. 125.000
2	Limbah cair kelapa sawit	Rp. 50.000	Rp. 50.000
3	Uji histopatologi hati	Rp. 200.000 x 5	Rp. 1000.000
4	Uji kandungan logam dan zat terlarut	Rp. 330.000	Rp. 330.000
5	Dan lain-lain	Rp. 300.000	Rp. 300.000
	<b>Total biaya penelitian</b>		<b>Rp. 1.805.000</b>

