

TUGAS AKHIR - SB 234801

PENGARUH TIMBAL (Pb) TERHADAP PERTUMBUHAN DAN *MOULTING* KEPITING BAKAU (*Scylla serrata*)

RAVENALA AUCKY ZAFRAN INDRAWAN

NRP 5005211037

Dosen Pembimbing

Nova Maulidina Ashuri, S.Si., M.Si.

NIP 1986201812016

Program Studi Biologi

Departemen Biologi

Fakultas Sains dan Analitika Data

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025



TUGAS AKHIR - SB 234801

**PENGARUH TIMBAL (Pb) TERHADAP PERTUMBUHAN
DAN *MOULTING* KEPITING BAKAU (*Scylla serrata*)**

RAVENALA AUCKY ZAFRAN INDRAWAN

NRP 5005211037

Dosen Pembimbing

Nova Maulidina Ashuri, S.Si., M.Si.

NIP 1986201812016

Program Studi Biologi

Departemen Biologi

Fakultas Sains dan Analitika Data

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025



FINALPROJECT - SB 234801

**THE EFFECT OF LEAD (Pb) ON THE GROWTH AND
MOULTING OF MUD CRABS (*Scylla serrata*)**

RAVENALA AUCKY ZAFRAN INDRAWAN

NRP 5005211037

Advisor

Nova Maulidina Ashuri, S.Si., M.Si.

NIP 1986201812016

Study Program Biology

Department of Biology

Faculty of Science and Analytical Data

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH TIMBAL (Pb) TERHADAP PERTUMBUHAN DAN *MOULTING* KEPITING BAKAU (*Scylla serrata*)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat

memperoleh gelar Sarjana pada

Program Studi S-1 Biologi

Departemen Biologi

Fakultas Sains dan Analitika Data

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **RAVENALA AUCKY ZAFRAN INDRAWAN**

NRP. 5005211037

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Nova Maulidina Ashuri, S.Si., M.Si.

Pembimbing

2. Prof. Dr. Enny Zulaika, MP.

Penguji I

3. Aunurohim, S.Si., DEA

Penguji II

Kepala Departemen Biologi



Prof. Dr. Awik Puji Dyah Nurhayati, S.Si., M.Si.

NIP. 19700621 1998 02 2001

SURABAYA

22 Juli, 2025

APPROVAL SHEET

THE EFFECT OF LEAD (Pb) ON THE GROWTH AND MOULTING OF MUD CRABS (*Scylla serrata*)

FINAL PROJECT

Submitted to fulfil one of the requirements
for obtaining a Bachelor degree of Science at
Undergraduate Study Program of Biology
Departement of Biology
Faculty of Science and Data Analytics
Sepuluh Nopember Institute of Technology

By : **RAVENALA AUCKY ZAFRAN INDRAWAN**

NRP. 5005211037

Approved by the Final Project Examiner Team:

1. Nova Maulidina Ashuri, S.Si., M.Si.
2. Prof. Dr. Enny Zulaika, MP.
3. Aunurohim, S.Si., DEA

Advisor

Examiner I

Examiner II



Head of Biology Department



Prof. Dr. Awik Puji Dyah Nurhayati

NIP. 19700621 1998 02 2001

SURABAYA

22 Juli, 2025

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Ravenala Aucky Zafran Indrawan / 5005211037
Program studi : S1 – Biologi
Dosen Pembimbing / NIP : Nova Maulidina Ashuri, S.Si., M.Si. /
1986201812016

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “**Pengaruh Timbal (Pb) Terhadap Pertumbuhan dan *Moult*ing Kepiting Bakau (*Scylla serrata*)**” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

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

Mengetahui
Dosen Pembimbing I



Nova Maulidina Ashuri, S.Si., M.Si
NIP. 1986201812016

Surabaya, 22 Juli 2025
Mahasiswa



Ravenala Aucky Zafran I.
NRP. 5005211037

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of the student / NRP : Ravenala Aucky Zafran Indrawan / 5005211084
Department : S1 – Biologi
Advisor / NIP : Nova Maulidina Ashuri, S.Si., M.Si. /
1986201812016

Hereby declare that the Undergraduate Thesis titled “**The Effect Of Lead (Pb) On The Growth And Moulting Of Mud Crabs (*Scylla serrata*)**” is my own original work and has been written in accordance with scientific writing standards.

If, in the future, any discrepancies with this statement are found, I am willing to accept any sanctions in accordance with the applicable regulations at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Acknowledge by:
Advisor I



Nova Maulidina Ashuri, S.Si., M.Si
NIP. 1986201812016

Surabaya, 22 Juli 2025
Student



Ravenala Aucky Zafran I.
NRP. 5005211037

KATA PENGANTAR

Puji Syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunianya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir dengan judul **”Pengaruh Timbal (Pb) Terhadap Pertumbuhan dan *Moulting* Kepiting Bakau (*Scylla serrata*)”**.

Penulis menyadari bahwasannya Proposal Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa adanya bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Nova Maulidina Ashuri, S.Si., M.Si selaku dosen pembimbing penulis yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta masukan yang begitu berarti bagi penulis selama proses penyusunan Proposal Tugas Akhir.
2. Ibu Prof. Dr. Dra. Enny Zulaika, MP. dan Bapak Aunurohim, S.Si, DEA. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya demi menyempurnakan tugas akhir ini.
3. Kedua orang tua penulis, Bapak Jusa Indrawan, S.Pd., M.Pd. dan Ibu Wiwint Wrindawanti, S.Pd. yang selalu senantiasa ada disamping penulis dan mendukung penuh penulis baik secara moral, emosional, maupun material.
4. Bapak Aunurohim, S.Si. DEA. selaku Dosen Wali penulis yang memberikan arahan akademik yang membangun selama masa studi penulis.
5. Bapak Afendy Adi Hermawan, A.Md., Senior, rekan seperbimbingan, serta teman teman Biologi ITS Angkatan 2021 dan teman teman UKM Rebana ITS yang telah menjadi tempat berbagi semangat, dukungan, dan hiburan selama masa studi, proses penelitian, dan selama masa penyusunan tugas akhir penulis.
6. Serta pihak-pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan kontribusi dan dukungan dalam bentuk apapun yang sangat berarti bagi penulis.

Penulis menyadari bahwa banyak kekurangan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, oleh karena itu penulis berharap semoga Tugas Akhir yang penulis buat dapat bermanfaat dan menjadi referensi mengenai pengaruh logam berat timbal bagi pertumbuhan kepiting. Khususnya para pembudidaya untuk meningkatkan produktifitas kepiting bakau.

Surabaya, 22 Juli 2025

Penulis

ABSTRAK

PENGARUH TIMBAL (Pb) TERHADAP PERTUMBUHAN DAN *MOULTING* KEPITING BAKAU (*Scylla serrata*)

Nama Mahasiswa / NRP : Ravenala Aucky Zafran Indrawan / 5005211037
Departemen : Biologi FSAD - ITS
Dosen Pembimbing : Nova Maulidina Ashuri. S.Si., M.Si

Abstrak

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang dapat mencemari habitat perairan kepiting bakau (*Scylla serrata*). Timbal yang terakumulasi pada jaringan kepiting dapat menghambat pertumbuhan maupun proses *moulting* dari kepiting bakau. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh timbal terhadap pertumbuhan dan perilaku *moulting* kepiting bakau. Kepiting bakau diberi perlakuan dengan variasi konsentrasi timbal, yaitu kontrol 0 ppm, 10 ppm, 20 ppm, dan 30 ppm. Parameter pertumbuhan yang diukur yaitu berat, panjang, dan lebar karapas yang diamati setiap 3 hari sekali selama 40 hari serta perilakunya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan timbal sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup kepiting bakau. Pada perlakuan 10 ppm menunjukkan penambahan berat sebesar 7 gr, panjang 0,21 cm, dan lebar 0,27 cm sedangkan pada perlakuan 20 ppm mengalami penurunan berat sebesar 5,68 gr, namun mengalami penambahan panjang dan lebar yang masing-masing 0,03 cm. Perlakuan 30 ppm, mengalami penurunan baik pada berat, panjang, dan lebarnya masing-masing 3,7 gr, 0,24 cm, dan 0,1 cm. Hasil penelitian juga menunjukkan pada perlakuan 10 ppm kepiting dapat bertahan hidup selama masa penelitian, sedangkan rata-rata kelangsungan hidup pada perlakuan 20 ppm dan 30 ppm masing-masing 30 dan 19 hari. Tidak terdapat kepiting yang mengalami *moulting* selama penelitian berlangsung, namun didapatkan perubahan perilaku kepiting akibat paparan timbal, utamanya pada 30 ppm, agresivitas kepiting meningkat kemudian beranjak lemas dan mati. Dengan demikian, timbal pada konsentrasi tinggi ≥ 20 ppm dapat menghambat pertumbuhan kepiting hingga kematian. Timbal menciptakan stress fisiologis dan defisit energi yang ekstrem bagi kepiting yang menekan mekanisme hormonal untuk memulai siklus *moulting*.

Kata kunci: *Moulting*, *Scylla serrata*, Timbal (Pb)

ABSTRACT

THE EFFECT OF LEAD (Pb) ON THE GROWTH AND MOULTING OF MUD CRABS (*Scylla serrata*)

Student Name / NRP : Ravenala Aucky Zafran Indrawan / 5005211037
Department : Biology FSAD - ITS
Advisor : Nova Maulidina Ashuri, S.Si., M.Si

Abstract

Lead (Pb) is one of the heavy metals that can contaminate the aquatic habitat of mangrove crabs (*Scylla serrata*). Lead accumulated in crab tissue can inhibit growth and moulting processes in mangrove crabs. Therefore, this study aims to determine the effect of lead on the growth and moulting behaviour of mangrove crabs. Mangrove crabs were exposed to varying lead concentrations: control (0 ppm), 10 ppm, 20 ppm, and 30 ppm. Growth parameters measured included weight, length, and carapace width, observed every three days over 40 days, along with behavioural changes. The results showed that lead exposure significantly affected the growth and survival of mangrove crabs. At the 10 ppm treatment, there was an increase in weight of 7 g, length of 0.21 cm, and width of 0.27 cm, while at the 20 ppm treatment, there was a decrease in weight of 5.68 g, but an increase in length and width of 0.03 cm each. The 30 ppm treatment showed a decrease in weight, length, and width of 3.7 g, 0.24 cm, and 0.1 cm, respectively. The study also showed that crabs in the 10 ppm treatment survived throughout the study period, while the average survival rates in the 20 ppm and 30 ppm treatments were 30 and 19 days, respectively. No crabs underwent moulting during the study, but behavioural changes were observed in crabs exposed to lead, particularly at 30 ppm, with increased aggression followed by lethargy and death. Thus, lead at high concentrations ≥ 20 ppm can inhibit crab growth to the point of death. Lead induces extreme physiological stress and energy deficits in crabs, which suppress the hormonal mechanisms necessary to initiate the moulting cycle.

Keywords: Moulting, *Scylla serrata*, Lead (Pb)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
APPROVAL SHEET	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
STATEMENT OF ORIGINALITY	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	12
1.1 Latar Belakang	12
1.2 Rumusan Masalah	13
1.3 Batasan Masalah	13
1.4 Tujuan	13
1.5 Manfaat	13
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	14
2.1 Kepiting Bakau (<i>Scylla serrata</i>)	14
2.2 Timbal (Pb)	17
BAB 3 METODOLOGI	19
3.1 Waktu dan Tempat	19
3.2 Alat dan Bahan	19
3.3 Skema Kerja	19
BAB 4 Hasil dan Pembahasan	24
4.1 Pengaruh Timbal terhadap Pertumbuhan Kepiting Bakau (<i>Scylla serrata</i>)	24
4.1.1 Data Pertumbuhan Berat Kepiting Bakau	24
4.1.2 Data Pertumbuhan Panjang Kepiting Bakau	26
4.1.3 Data Pertumbuhan Lebar Kepiting Bakau	28
4.2 Data Perilaku Kepiting Bakau	29
BAB 5 Kesimpulan dan Saran	31
5.1 Kesimpulan	31

5.2	Saran	31
	DAFTAR PUSTAKA	32
	LAMPIRAN	37
1.	Hasil Penelitian	37
2.	Uji spss	42
	BIODATA PENULIS	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kepiting Bakau (<i>Scylla serrata</i>) (Masitoh et al., 2024).....	14
Gambar 2. 2 <i>Scylla serrata</i> Betina (A) dan Jantan (B) (Masitoh et al., 2024)	15
Gambar 2. 3 Siklus hidup <i>S. serrata</i> (Meynecke & Richards, 2014)	16
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 4. 1 Perubahan berat kepiting selama 40 hari	24
Gambar 4. 2 Perubahan panjang kepiting selama 40 hari.....	26
Gambar 4. 3 Perubahan lebar kepiting selama 40 hari	28

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data nilai perilaku kepiting.....	29
--	----

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kepiting Soka adalah salah satu komoditas perikanan yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Kepiting soka digemari oleh masyarakat Indonesia karena seluruh bagian dari kepiting soka dapat dikonsumsi. Kepiting soka adalah kepiting yang baru saja mengalami pergantian kulit atau *moulting*, yaitu seluruh tubuh hingga cangkangnya lunak dan dapat dikonsumsi (Iromo et al., 2019; Usman et al., 2024). Kepiting soka umumnya berasal dari spesies *Scylla serrata* yang merupakan kepiting bakau yang biasa hidup di area mangrove (Wijaya & Yulianda, 2010). Proses *moulting* atau pergantian kulit yang terjadi pada kepiting adalah suatu proses penting bagi keberlangsungan hidupnya (Mahdaliana et al., 2022). Namun, berbagai faktor lingkungan dapat memengaruhi proses *moulting* kepiting tersebut, salah satunya adalah adanya logam berat yang terdapat pada habitat kepiting. Tingginya kontaminasi oleh logam berat pada kepiting dapat mengancam hidupnya dan proses pertumbuhannya yang dapat terhambat (Sandro et al., 2013).

Kepiting bakau (*S. serrata*) mampu untuk mengakumulasi adanya logam berat seperti timbal (Pb) yang ada pada lingkungannya ke jaringan tubuhnya (Siahainenia & Selanno, 2022; Yusni & Sinaga, 2018). Kepiting bakau dapat mentolerir berbagai kondisi lingkungan yang ekstrim dan beradaptasi dengan berbagai makanan pada habitatnya (Sandro et al., 2013). Adanya limbah logam berat timbal yang terdapat pada habitat kepiting dapat menjadi racun yang mematikan bagi kepiting. Timbal yang terakumulasi dalam jaringan kepiting nantinya dapat menghambat pertumbuhan dan proses *moulting* dari kepiting bakau (Kristianto et al., 2021).

Logam berat timbal (Pb) merupakan sebuah limbah logam cair hasil industri yang dapat mencemari lingkungan perairan. Perairan yang tercemar oleh logam berat seperti timbal juga berdampak negatif pada organisme perairan, seperti kepiting bakau (Afrilla & Puspikawati, 2021). Logam berat adalah salah satu kelompok pencemar lingkungan yang sangat berbahaya bagi lingkungan dengan konsentrasi tertentu. Timbal biasa digunakan sebagai bahan aktif dalam industri baterai, karena sifat dari timbal dapat meningkatkan sifat metalurgi dan memiliki kemampuan untuk menjaga dari korosi (Arisandy et al., 2012). Timbal dapat mencemari lingkungan dan juga bersifat racun terhadap organisme seperti kepiting bakau baik secara fisiologi, morfologi, dan genetiknya. Struktur jaringan pada kepiting bakau dapat terkena dampak yang signifikan jika terpapar dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan terpapar dalam waktu yang lama (Kristianto et al., 2021). Beberapa penelitian terdahulu membahas mengenai performa dan karakter morfologi dari kepiting yang terpapar dengan logam berat seperti Pb, namun belum ada yang membahas mengenai pertumbuhan dan juga *moulting* dari kepiting. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari logam berat Pb terhadap pertumbuhan dan *moulting* kepiting bakau (Siahainenia & Selanno, 2022).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang yang telah diuraikan, dalam penelitian ini terdapat suatu rumusan masalah sebagai berikut

1. Bagaimana pengaruh timbal terhadap pertumbuhan kepiting bakau (*Scylla serrata*)
2. Bagaimana pengaruh timbal terhadap proses *moulting* kepiting bakau (*Scylla serrata*)

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, terdapat beberapa batasan yang ditetapkan untuk memperoleh hasil yang fokus dan terarah

1. Penelitian dilakukan di apartemen kepiting pada laboratorium dengan pengendalian kadar timbal tertentu
2. Parameter pertumbuhan yang diukur adalah penambahan berat dan penambahan ukuran panjang dan lebar pada kepiting bakau (*Scylla serrata*)
3. Parameter proses *moulting* yang didata meliputi waktu dan perilaku kepiting bakau (*Scylla serrata*)

1.4 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk

1. Menganalisis pengaruh dari toksisitas timbal terhadap pertumbuhan kepiting bakau (*Scylla serrata*)
2. Mengetahui pengaruh dari timbal terhadap proses *moulting* kepiting bakau (*Scylla serrata*)

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Menambah wawasan mengenai efek logam berat, khususnya timbal (Pb), terhadap proses pertumbuhan dan *moulting* kepiting bakau (*Scylla serrata*)
2. Memberikan pemahaman kepada masyarakat mengenai dampak pencemaran logam berat di lingkungan perairan

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kepiting Bakau (*Scylla serrata*)

2.1.1 Klasifikasi Kepiting Bakau

Berdasarkan taksonominya, kepiting bakau (*Scylla serrata*) dapat diklasifikasikan sebagai berikut

- Kingdom : Animalia
- Phylum : Arthropoda
- Class : Crustaceae
- Sub Class : Malacostraca
- Order : Decapoda
- Sub Order : Brachyuran
- Family : Portunidae
- Genus : *Scylla*
- Species : *Scylla serrata* (Forskål, 1775)



Gambar 2. 1 Kepiting Bakau (*Scylla serrata*)
(Masitoh et al., 2024)

Kepiting bakau yang juga dikenal sebagai kepiting lumpur memiliki morfologi yang memungkinkannya beradaptasi di daerah pesisir seperti pada daerah mangrove. Bentuk karapas pada kepiting soka memiliki bentuk yang bulat dan oval. Panjang karapas pada kepiting dewasa bisa mencapai 10 hingga 24 cm. kepiting bakau, memiliki *carapas* atau cangkang yang melindungi tubuh kepiting. Karapas ini adalah bagian terluar kepiting yang memiliki tekstur yang keras, terbuat dari kalsium karbonat dan kitin (Jantrarotai et al., 2006). Memiliki sepasang capit besar (*Chelipeds*) yang digunakan untuk pertahanan diri dan juga digunakan untuk menangkap mangsa dengan bagian jarinya yang kuat dan ujung capit tajam. Kepiting bakau memiliki 3 pasang kaki jalan (*Pereiopoda*) yang berfungsi untuk kepiting dapat berjalan, juga bergerak pada area perairan yang berlumpur. Sepasang kaki renang (*Pleopoda*) digunakan kepiting untuk memudahkan kepiting berenang di dalam air maupun berjalan di area lumpur. Terdapat bulu-bulu halus pada kaki kepiting yang berfungsi untuk membantu kepiting dalam berenang di air (Parkes et al., 2011). Abdomen kepiting berada pada ventral tubuh. Tutup abdomen (*abdominal flap*) adalah organ berbentuk lempengan yang berfungsi melindungi pleopod (*gonopod*). Pada kepiting bakau jantan, pleopod berperan sebagai organ kopulasi dan disebut *copulatory pleopod*. Sementara itu, pada kepiting bakau betina, pleopod berfungsi

sebagai tempat melekatnya massa telur yang telah dibuahi (zigot) selama proses inkubasi, sehingga disebut juga organ pelengkap kelamin (Quinitio et al., 2011; Siahainenia, 2009).



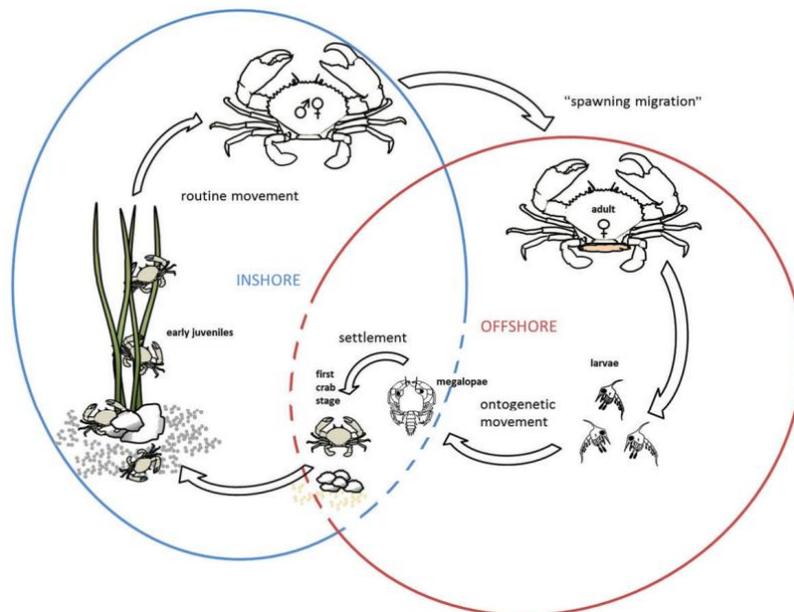
Gambar 2. 2 *Scylla serrata* (A) Betina dengan garis abdomen lebih cembung, tempat menyimpan telur dan (B) Jantan dengan garis abdomen lebih meruncing (Masitoh et al., 2024)

Kepiting bakau memiliki mata majemuk atau mata *compound* yang terdiri dari banyak mata optic yang disebut dengan *ommatidia*. *Ommatidia* terdiri dari kumpulan reseptor lensa cahaya yang berbentuk kerucut, sel sensor, dan pigmen yang sensitif dengan cahaya (Siahainenia, 2009). Antena juga dimiliki oleh kepiting seperti pada *Crustacea* lainnya. Antena dari kepiting berjumlah satu pasang yang ada pada bagian depan karapaks. Antena kepiting bisa digunakan untuk mendeteksi bahaya maupun juga sebagai organ perasa dan peraba untuk mendeteksi pergerakan air (Jantrarotai et al., 2006; Siahainenia, 2009). Mulut kepiting bakau berada di bagian ventral tubuh, di atas tulang dada, tepatnya di bawah rongga mata. Tiga pasang rahang tambahan berbentuk lempengan, yaitu maxilliped I, maxilliped II, dan maxilliped III, tersusun berurutan dan menutupi rongga mulut. Susunan maxilliped ini mencegah lumpur atau air masuk langsung ke rongga mulut yang selalu terbuka. Setiap maxilliped membuka bagian tengahnya seperti pintu saat makanan dimasukkan ke dalam mulut. Setelah makanan masuk ke dalam mulut, bagian tengahnya kembali tertutup (Siahainenia, 2009).

2.1.3 Perilaku Kepiting Bakau

Kepiting bakau (*Scylla serrata*) merupakan kepiting yang terkenal akan persebarannya yang luas. Kepiting bakau dapat tersebar baik di daerah beriklim tropis maupun beriklim subtropis, seperti di benua Afrika, Arab, Asia Timur, Asia Tenggara, Australia, juga pada Indo-Pacific (Alberts-Hubatsch et al., 2016). Perilaku kepiting bakau sangat adaptif dan juga beragam, dalam bertahan hidup, berkembang biak, serta tumbuh kembang kepiting mengandalkan interaksi dengan lingkungannya. Lingkungan yang kompleks seperti ekosistem hutan mangrove dan kebiasaan dari kepiting yang menggali lubang untuk tempat hidupnya dapat mengurangi resiko dari predatornya (Meynecke & Richards, 2014).

Kepiting bakau memiliki perilaku makan yang kurang teratur, namun aktivitas mencari makan kepiting bakau biasa terjadi pada malam hari atau termasuk dalam hewan *nocturnal* (Zakaria & Saragih, 2021). Kepiting bakau menggunakan mata majemuknya dan antena yang berada pada bagian depan untuk mencari makanan. Dengan mata majemuk yang terdiri dari banyak *ommatidia* memungkinkan melihat dalam keadaan gelap (Zakaria & Saragih, 2021; Siahainenia, 2009). Saat siang hari atau disaat kepiting tidak aktif mencari makan, mereka akan berada pada kondisi *inactive* atau beristirahat. Kepiting sering untuk beristirahat bukan hanya digunakan untuk tidur.



Gambar 2. 3 Siklus hidup *S. serrata*
(Meynecke & Richards, 2014)

Siklus hidup dari kepiting bakau seperti pada Gambar 2.3 mengalami 4 fase yang dimulai dari telur yang disimpan oleh kepiting betina di bagian abdomennya. Telur menetas menjadi larva yang akan berkembang secara planktonik, yaitu masa zoea dan megalopa. Tahap zoea, larva kepiting ini akan mengikuti arus dan mengandalkan fitoplankton maupun zooplankton sebagai makanannya. Setelah mencapai tahap megalopa, larva kepiting ini mulai mencari substrat dan berubah menjadi juvenil. Perubahan fase larva megalopa menjadi fase juvenil, kepiting akan mengalami *moulting* pertama kali yang dialami untuk menggantikan cangkang lunak meraka yang lama menjadi cangkang lunak yang baru. Kepiting akan terus mengalami pertumbuhan dan berulang kali mengalami *moulting* dan menjadi kepiting dewasa (Alberts-Hubatsch et al., 2016; Meynecke & Richards, 2014).

Fase *moulting* dari kepiting bakau memiliki lama waktu optimal berkisar 20-30 hari pada kepiting juvenil (Ario et al., 2019; Biag et al., 2022) Pada kepiting bakau yang telah dewasa, fase *moulting* kepiting bakau menjadi lebih lama, yaitu berkisar 30-45 hari (Biag et al., 2022; Nguyen et al., 2022). Lama waktu kepiting untuk *moulting* dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti hormon, kondisi air, salinitas, dan nutrisi yang didapatkan dari pakan (Ario et al., 2019).

2.1.4 Fisiologi Kepiting Bakau

Kepiting bakau (*Scylla serrata*) memiliki berbagai sistem tubuh yang bekerja bersama dan saling bergantung satu sama lain untuk mendukung adaptasinya. Kepiting bakau bernapas dengan insang yang terdapat pada bagian *branchial chamber* yang ada pada bagian bawah karapasnya. Insang pada kepiting bakau terdiri dari filamen-filamen yang halus dan permukaan luas membuat mudahnya difusi oksigen dan karbondioksida pada air (Kunzmann et al., 2007). Kepiting bakau memiliki insang yang permukaannya luas dan terdapat banyak pembuluh kapiler, memungkinkan mengambil oksigen dari air maupun udara yang lembab. Hemolimfa pada kepiting bakau dapat memungkinkan pertukaran gas oksigen dan karbon dioksida dengan lingkungan secara difusi dari bagian insang kepiting yang sangat vaskular. Epitel insang kepiting yang tipis dapat mempermudah difusi (Martinez et al., 1999).

Pertumbuhan dan *moulting* kepiting bakau (*S. serrata*) dipengaruhi dan diatur oleh hormon *ecdysone*. Hormon *ecdysone* di produksi oleh kelenjar Y-organ yang merupakan sistem endokrin pada *crustaceae*. MIH atau *Molt-inhibiting hormone* adalah hormon yang menekan *ecdysone* pada saat fase istirahat, sehingga produksi dari hormon *ecdysone* oleh organ-Y akan ditekan (Imayavaramban et al., 2007). Pada tahap persiapan *moulting*, produksi hormon MIH akan menurun dan memungkinkan hormon ETH (*Ecdysis-Triggering Hormone*) akan diproduksi oleh saraf untuk merangsang persiapan tubuh untuk *moulting (ecdysis)*. Y-organ akan memulai aktivasi dan produksi *ecdysone* meningkat, merubah *ecdysone* dari bentuknya yang pasif menjadi *20-hydroxyecdysone* (Zhao et al., 2022). Adanya *ecdysone* yang meningkat, meningkatkan laju sintesis protein untuk melemahkan eksoskeleton yang lama. Pada tahap *ecdysis* atau *moulting* kepiting akan secara fisik melepaskan eksoskeleton yang lama dengan bantuan EH (*Ecdysis Hormone*) (Imayavaramban et al., 2007; Zhao et al., 2022).

Setelah eksoskeleton yang lama terlepas dari kepiting dan tumbuh eksoskeleton yang baru, seluruh aktivitas hormon akan menurun, terutama aktivitas dari hormon *ecdysone*. Eksoskeleton yang baru akan mulai mengalami pengerasan. Konsentrasi *ecdysone* yang menurun, memungkinkan untuk mempercepat pengendapan dari kalsium karbonat pada kepiting, sehingga dapat membantu pengerasan eksoskeleton baru. Tubuh kepiting akan mengalami penambahan volume dan mengembang untuk mencapai ukuran baru sebelum eksoskeleton akan mengeras sepenuhnya (Waiho et al., 2021; Zhao et al., 2022).

2.2 Timbal (Pb)

2.2.1 Karakteristik Timbal

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang biasa disebut dengan timah hitam. Titik lebur yang dimiliki oleh timbal terbilang rendah, timah juga mudah untuk dibentuk, dan biasa digunakan untuk melapisi logam untuk mengurangi potensi terkena karat karena timbal memiliki sifat kimia yang aktif (Agustina, 2014). Timbal adalah logam berat yang populer dikarenakan banyak digunakan pada proses industri dan sebagai campuran logam pada perabotan rumah tangga agar tidak mudah terkena oleh karat dan korosi (Arisandy et al., 2012). Titik lebur timbal yaitu $327,43^{\circ}\text{C}$ yang relatif rendah daripada logam berat lainnya, juga sifat timbal yang lunak mudah untuk dibentuk, ditempa, dan dicairkan. Ketika timbal terpapar udara dan air, timbal akan membentuk lapisan oksida, karbonat, dan sulfat pada permukaannya, berfungsi sebagai penghalang yang dapat menghambat dan mencegah terjadinya korosi pada logam lain di bawahnya (Eka & Mukono, 2017).

Timbal adalah kelompok logam berat golongan IV A pada tabel periodik unsur kimia, memiliki nomor atom 82 dan memiliki berat atom 207,2. Timbal di alam bebas jarang ditemukan sebagai unsur bebas, melainkan dalam bentuk senyawa dengan molekul yang lainnya, misalnya PbBr_2 dan PbCl_2 (Agustina, 2014). Bentuk oksidasi yang paling umum dari timbal adalah timbal (II) dan senyawa organometalik penting lainnya seperti *tetra ethyl lead* (TEL), *tetra methyl lead* (TML), dan timbal stearate (Gusnita, 2012). Sifat persisten dan toksik terdapat pada timbal yang dapat terakumulasi dalam rantai makanan. Absorpsi timbal dalam tubuh berlangsung sangat lambat, dengan akumulasi yang terjadi secara kontinu dapat menjadi dasar keracunan yang progresif. Keracunan timbal bisa memengaruhi dari histologi, fisiologi, bahkan menyebabkan kematian dari makhluk hidup yang tercemar (Conrado et al., 2022; Kristianto et al., 2021; Siahainenia & Selanno, 2022).

2.2.2 Toksisitas Timbal

Logam berat merupakan polutan paling utama pada daerah perairan estuaria (Weis et al., 1992). Timbal (Pb) adalah salah satu logam berat yang sering digunakan dan mengakibatkan banyak limbah dari penggunaan timbal yang terakumulasi secara berlebihan pada organisme dapat menimbulkan berbagai efek yang merugikan baik pada morfologinya, histologi, maupun fisiologi (Kristianto et al., 2021; Razali et al., 2024). Fisiologi kepiting yang terganggu dapat mengakibatkan beberapa fungsi fisiologis yang terhambat. Terhambatnya fungsi fisiologis dapat memengaruhi hormon-hormon yang berfungsi dalam pertumbuhan dan *moulting* kepiting bakau, seperti aktivitas hormon *ecdysone* yang memiliki fungsi penting pada proses *moulting* kepiting (Kamaruzzaman et al., 2012; Pati et al., 2023; Razali et al., 2024).

Secara histologi, timbal dapat merusak struktur insang kepiting yang menjadi organ utama pada proses respirasi. Lamela insang dapat mengalami nekrosis, sehingga mengurangi efisiensi respirasi. Timbal terdeposit pada organ insang yang menyebabkan berkurangnya kapasitas respirasi dan mengganggu osmoregulasi (Gagneten et al., 2012). Infeksi *hepatopancreas* oleh timbal dapat mengurangi energi yang diperlukan oleh kepiting untuk melakukan pencernaan, metabolisme, dan detoksifikasi karena aktivitas enzim dari organ ini akan mengalami penghambatan (Liu et al., 2014). Metabolisme kalsium untuk pengerasan eksoskeleton dapat terhambat oleh timbal, sehingga pengerasan eksoskeletonnya tidak merata. Akumulasi timbal pada eksoskeleton membuat lebih rapuh dan kaku yang dapat menurunkan keberhasilan dari *moulting* (Osayande & Zou, 2022).

Organ insang bersentuhan langsung dengan lingkungan yang mengandung kontaminan, sehingga timbal mudah masuk pada insang melalui membran lamella tipis (Gagneten et al., 2012). Enzim transport ion Na^+/K^+ -ATPase dapat terganggu karena adanya paparan timbal yang dapat menyebabkan disfungsi seluler. Insang akan bekerja dengan keras untuk menjaga dan mempertahankan keseimbangan homeostatis dan dapat mengakibatkan stress oksidatif (Capparelli et al., 2016).

Moulting pada kepiting diatur sistem endokrin khusus yang diproduksi oleh Y-organ dan kelenjar X. Timbal dapat menyebabkan produksi *ecdysone* terhambat, menyebabkan fase *moulting* kepiting dapat tertunda. Pelepasan hormon MIH di atur oleh kelenjar X (*Sinus gland*), bila terkena timbal dapat mengakibatkan tidak teraturnya produksi hormon MIH pada kepiting. Ketidak seimbangan antara MIH dan hormone *ecdysone* memiliki dampak pada siklus *moulting* kepiting dapat terganggu (Hosamani et al., 2017; Pati et al., 2023; Weis et al., 1992).

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan mulai dari Bulan Mei 2025 hingga bulan Juni 2025 menggunakan apartemen kepiting yang bertempat di Laboratorium Akuakultur dan Laboratorium Biosains dan Teknologi Hewan, Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Jawa Timur.

3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini menggunakan beberapa alat dan bahan yang digunakan untuk menunjang penelitian agar dapat berjalan dengan maksimal. Alat yang digunakan pada penelitian yaitu box apartemen kepiting yang dilengkapi dengan sistem aerasi, timbangan digital, pipet dan *beaker glass*, jangka sorong, pH meter, salinometer, dan spatula.

Bahan yang akan digunakan meliputi kepiting bakau (*Scylla serrata*), larutan timbal klorida ($PbCl_2$), air payau yang diambil dari area tambak hutan mangrove wonorejo yang telah diolah, dan pakan kepiting.

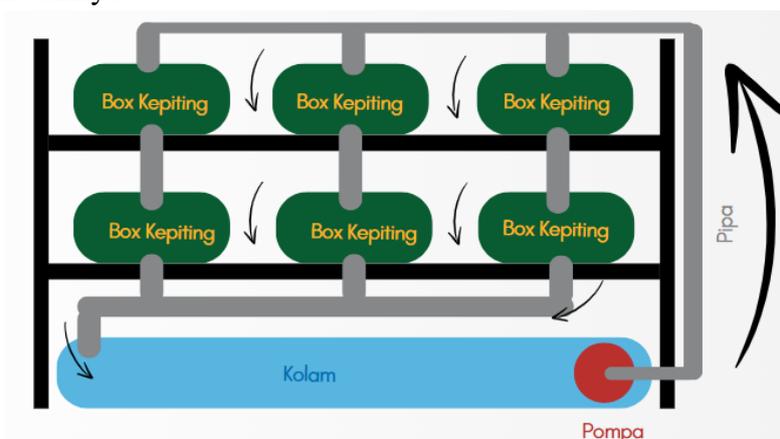
3.3 Skema Kerja

3.3.1 Diagram Alir

Adapun diagram alir penelitian ini akan ditampilkan pada Gambar 3.1

3.3.2 Penyiapan Lahan

Penyiapan lahan bertujuan untuk membuat lahan yang sesuai untuk organisme uji, yaitu kepiting bakau (*Scylla serrata*). Lahan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan apartemen kepiting. Apartemen kepiting adalah teknik budidaya kepiting yang menggunakan box wadah yang disusun dengan vertikal seperti rak penyimpanan, memungkinkan menampung kepiting lebih banyak pada suatu ruangan (Ferdiansyah et al., 2022). Kepiting dengan perlakuan uji yang sama akan di tempatkan dengan 1 aerasi yang sama, agar perlakuan uji tidak tercampur dengan perlakuan lainnya.



Gambar 3.2 Box Apartemen Kepiting

Box yang digunakan untuk wadah kepiting berukuran 30x20x20 cm. Desain box akan memiliki penutup pada bagian atas yang berlubang, memungkinkan adanya sirkulasi udara. Setiap 1 apartemen kepiting terdiri dari 3 box kepiting dengan 1 pompa air yang akan memompa air kembali keatas.

3.3.3 Aklimatisasi

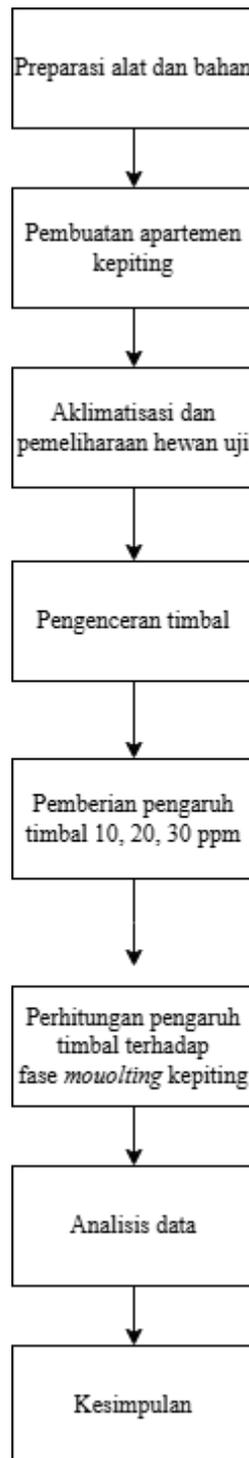
Kepiting bakau (*Scylla serrata*) di aklimatisasi terlebih dahulu sebelum dilakukan penelitian ini. Aklimatisasi adalah suatu tahapan untuk kepiting dapat beradaptasi dengan kondisi sebelum dilakukannya penelitian. Kepiting bakau di aklimatisasi dengan waktu 7 hari terlebih dahulu agar kepiting menyesuaikan diri dengan keadaan baru. Selama aklimatisasi, kepiting diberi pakan yang sesuai dengan kebutuhan, yaitu sebanyak 2 kali sehari. Pakan kepiting berupa usus ayam yang diberikan sebanyak 5% dari bobot kepiting (Mahdaliana et al., 2022). Aklimatisasi dapat membuat kepiting dalam kondisi yang stabil, sehat, dan siap menerima perlakuan selama penelitian.

Kepiting bakau yang digunakan adalah kepiting bakau yang berada pada masa juvenil atau pada masa remaja dengan bobot berkisar 100-200 gram per ekornya. Kepiting bakau dengan masa juvenil digunakan adalah karena pada masa juvenil kepiting bakau lebih cepat mengalami *moulting* dari pada kepiting yang sudah pada fase dewasanya. Kepiting bakau yang digunakan adalah kepiting jantan, karena terdapat perbedaan hormon dengan kepiting betina.

3.3.4 Preparasi Zat Uji Timbal (Pb)

Pemberian zat uji timbal klorida ($PbCl_2$) terdapat 3 perlakuan dan 1 kontrol. Perlakuan pertama akan diberi zat timbal dengan konsentrasi 10 ppm, perlakuan kedua akan diberi zat uji dengan konsentrasi 20 ppm, dan perlakuan ketiga akan diberi zat uji dengan konsentrasi 30 ppm (Siahainenia & Selanno, 2022). Pengulangan akan dilakukan sebanyak 3 kali.

Timbal ($PbCl_2$) dilarutkan terlebih dahulu dengan aquabidest/aquadest agar didapatkan terlebih dahulu larutan stocknya. Setelah larutan stock didapatkan, dicampur kepada air payau dengan salinitas 20 ppm dan disesuaikan konsentrasinya sebanyak 10 ppm, 20 ppm, dan 30 ppm timbal (Pb). Dilakukannya pembuatan larutan *stock* timbal pada aquadest yaitu untuk mempermudah pengenceran timbal, dikarenakan aquadest adalah air murni yang tidak mengandung ion-ion lain didalamnya, sehingga tidak ada ion lainnya yang mengganggu.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.3.5 Perhitungan Ukuran Berat Panjang, dan Lebar Kepiting

Ukuran berat dan panjang dari kepiting uji diukur dari sebelum dilakukannya perlakuan uji, hingga saat kepiting melakukan *moultting*. Pengukuran berat menggunakan timbangan digital dan untuk pengukuran panjang menggunakan jangka sorong dari ujung kanan hingga ujung kiri karapas kepiting. Pengukuran lebar kepiting menggunakan jangka sorong dari ujung depan hingga ujung belakang karapas kepiting. Perhitungan dilakukan sebelum kepiting melakukan

uji hingga kepiting mengalami *moulting* atau selama 40 hari waktu penelitian. Pengukuran panjang dan lebar pada kepiting dilakukan pada karapasnya.

Pertambahan bobot pada kepiting dihitung setiap 3 hari sekali dengan menggunakan rumus (Mahdaliana et al., 2022) :

$$W_m = W_t - W_o$$

Keterangan :

W_m = Pertumbuhan bobot mutlak (gr)

W_t = Bobot rata-rata akhir kepiting (gr)

W_o = Bobot rata-rata awal kepiting (gr)

Pengukuran panjang dan lebar pada kepiting diukur setiap 3 hari sekali hingga kepiting bakau mengalami *moulting* atau selama penelitian berlangsung. Pengukuran panjang diukur dari bagian ujung samping kiri hingga ujung samping kanan karapas kepiting. Pengukuran lebar kepiting diukur dari bagian ujung bagian depan hingga ujung bagian belakang karapas kepiting menggunakan rumus (Mahdaliana et al., 2022), yaitu :

$$P = P_t - P_o$$

Keterangan :

P = Pertumbuhan panjang/lebar mutlak (cm)

P_t = Panjang/lebar rata-rata karapas kepiting hari ke t (cm)

P_o = Panjang/lebar rata-rata karapas kepiting hari ke 0 (cm)

3.3.6 Perhitungan Fase *Moulting*

Proses *moulting* kepiting bakau (*S. serrata*) tidak dapat berjalan secara serentak. Oleh karena itu, perlakuan uji akan dilakukan sehari setelah kepiting mengalami *moulting* dan dihitung sebagai hari ke-1. Perlakuan uji akan terus berlanjut hingga kepiting mengalami *moulting* kembali, sehingga fase *moulting* yang dihitung adalah satu kali masa *moulting*. Fase *moulting* dihitung dengan melihat seberapa waktu/hari yang dibutuhkan oleh kepiting untuk *moulting* kembali. Perilaku kepiting akan diamati dengan kategori normal, agresif, dan lemas. Kepiting dikatakan memiliki perilaku yang lemas apabila kepiting tidak peka terhadap rangsangan dari lingkungan luar dan lebih sering berdiam diri di area yang sama. Kepiting dikatakan memiliki perilaku yang agresif yaitu dengan mengangkat kedua capitnya saat didekati yang menandakan kepiting siap bertarung. Perilaku normal kepiting ditandai dengan kepiting peka terhadap rangsangan dan memakan makanannya dengan lahap (Zakaria & Saragih, 2021) .

3.3.7 Analisis Data

Analisis data menggunakan metode *One-Way* ANOVA yang mana akan digunakan untuk menganalisis pengaruh dari pemberian paparan timbal pada beberapa kelompok kepiting terhadap variable pertumbuhan dan *moulting* kepiting bakau (*S. serrata*). Data akan dianalisis menggunakan uji normalitas data. Distribusi data yang normal diuji menggunakan uji statistika *One-Way* ANOVA. Jika hasil dari uji ANOVA menunjukkan adanya perbedaan, uji *Dunnet* akan digunakan untuk membandingkan rata-rata dari seluruh perlakuan terhadap perlakuan kontrol. Apabila data terdistribusi tidak normal, uji Kruskal-Wallis digunakan. Perilaku di analisis secara deskriptif dengan nilai 1, 2, dan 3, dengan nilai 1 mengindikasikan lemas, 2 mengindikasikan normal, dan 3 mengindikasikan agresif. Kepiting dikatakan lemah apabila kurang peka terhadap lingkungannya dan tidak segera mengambil makanan yang diberikan.

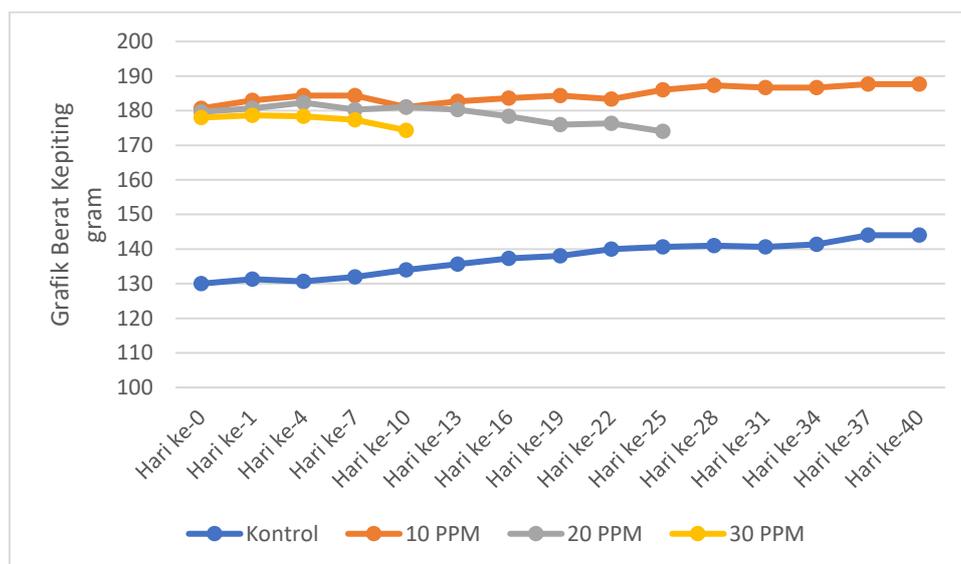
Kepiting dikatakan agresif apabila terlalu sensitif terhadap lingkungannya dan selalu merasa terancam.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Timbal terhadap Pertumbuhan Kepiting Bakau (*Scylla serrata*)

Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pemberian timbal (Pb) dengan konsentrasi tertentu memberikan dampak terhadap pertumbuhan kepiting bakau, baik dari segi berat, panjang, dan lebar kepiting.

4.1.1 Pertumbuhan Berat Kepiting Bakau



Gambar 4. 1 Perubahan berat kepiting selama 40 hari

Hasil grafik berat kepiting tersebut menunjukkan berat rata-rata kepiting dari 3 pengulangan pada setiap perlakuan uji timbal. Pada 3 pengulangan perlakuan uji timbal 10 ppm, rata-rata berat awalnya yaitu 180,68 g pada hari ke-0 dan memiliki rata-rata berat akhir 187,68 g pada hari ke-40. Perlakuan uji timbal 20 ppm memiliki rata-rata berat awal pada 3 pengulangan yaitu 179,68 g pada hari ke-0 dan rata-rata berat akhir 174 g pada hari ke-25. Pada uji timbal 30 ppm, rata-rata berat awal 178 g dan rata-rata berat akhir 174,3 g pada hari ke-11. Perlakuan kontrol yaitu dengan 0 ppm zat timbal memiliki rata-rata berat awal 130 g pada hari ke-0 dan rata-rata berat akhir 144 g pada hari ke-40.

Perlakuan uji timbal dengan konsentrasi 10 ppm mengalami kenaikan berat sebesar 7 gr, namun tidak seperti kenaikan pada perlakuan kontrol yang sebesar 14 gr. Pada perlakuan uji timbal dengan konsentrasi 20 ppm dan 30 ppm terjadi penurunan berat yang cukup signifikan dengan nilai $P < 0,05$. Penurunan berat pada 20 ppm dan 30 ppm masing-masing 5,68 gr dan 3,7 gr menandakan pada uji timbal dengan konsentrasi yang lebih tinggi dapat menghambat pertumbuhan kepiting dan menimbulkan penurunan berat pada kepiting. Hal ini diduga karena timbal yang terakumulasi pada organ insang dan *hepatopancreas* kepiting dapat menghambat fungsi aktifitas enzim yang penting untuk pencernaan nutrisi, sehingga penyerapan nutrisi tidak dapat diserap secara optimal (Liu et al., 2014). Pasokan energi kepiting yang terhambat disebabkan organ *hepatopancreas* yang bekerja kurang optimal akan menyebabkan kepiting mengambil energi cadangan internalnya. Tubuh kepiting mulai mengambil energi dari jaringan lain, seperti otot untuk diambil energi proteinnya yang digunakan untuk metabolisme (Long et

al., 2023). Oleh karena itu dapat dikatakan, semakin pekat konsentrasi timbal yang terdapat pada habitat kepiting, menyebabkan kepiting tidak mengalami kenaikan berat atau bahkan mengalami penurunan berat seperti pada Gambar 4.1.

Perbedaan hari terakhir pada perlakuan 20 ppm yang hanya 25 hari dan pada 30 ppm yang hanya sampai pada hari ke 11 dikarenakan kepiting mengalami kematian. Paparan timbal yang tinggi pada kepiting dapat menyebabkan kepiting mengalami kematian. Kematian kepiting dapat terjadi karena adanya organ kepiting yang rusak seperti pada insang yang menjadi organ pertama yang terpapar timbal secara langsung, juga pada organ *hepatopancreas* yang menjadi organ utama yang berperan untuk menyalurkan nutrisi pada kepiting. Paparan timbal dapat menjadi racun yang dapat merusak organ dan jaringan kepiting sehingga kinerjanya menurun dan dapat menyebabkan kematian. (Gagneten et al., 2012 ; Liu et al., 2014).

Logam berat timbal (Pb) dapat masuk dan terakumulasi di tubuh kepiting melalui tiga jalur utama, yaitu mekanisme respirasi, sistem pencernaan dan difusi pada permukaan tubuh kepiting (Anandkumar et al., 2019). Mekanisme respirasi melibatkan organ utama yaitu insang, sedangkan mekanisme pencernaan melibatkan organ *hepatopancreas*. Insang dan *hepatopancreas* pada kepiting merupakan organ yang sangat penting bagi metabolisme kepiting. Paparan timbal berlebih yang masuk dan terakumulasi pada insang dapat menimbulkan stress oksidatif pada kepiting dengan adanya peningkatan produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang akan merusak sel dan mengganggu metabolisme kepiting (Gagneten et al., 2012 ; Pati et al., 2023).

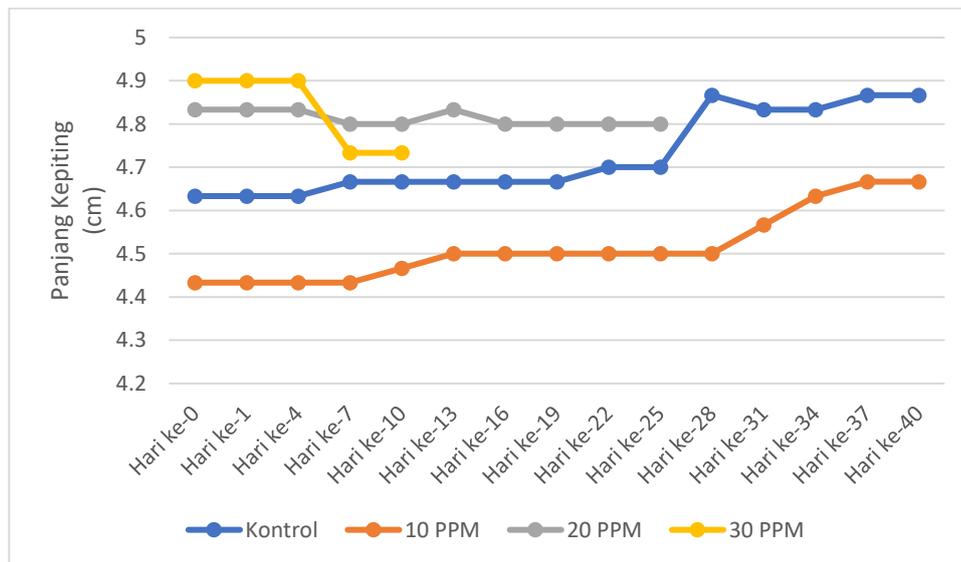
Proses respirasi yang melibatkan insang kepiting menjadi alasan mengapa insang menjadi jalur masuk yang efektif. Proses respirasi atau pernapasan membuat air yang terkontaminasi timbal bersentuhan langsung dengan insang. Membran tipis yang terdapat pada insang menjadi tempat pertukaran gas, namun dapat membuat timbal yang terlarut dalam air mudah masuk dalam tubuh kepiting melalui sirkulasi (hemolimfa) kepiting (Anandkumar et al., 2019 ; Pati et al., 2023). Aktivitas respirasi dan osmoregulasi menjadi terganggu dengan adanya kerusakan organ insang. Kemampuan respirasi kepiting terhambat karena rusaknya epitel pada insang, menyebabkan penyerapan oksigen melalui air menuju hemolimfa kepiting tidak efektif (Pati et al., 2023).

Hepatopancreas menjadi organ utama kepiting yang mengatur metabolisme, pencernaan, dan detoksifikasi menjadikan *hepatopancreas* lokasi utama akumulasi timbal pada tubuh kepiting dan pusat kerusakan seperti nekrosis (kematian sel) akibat paparan logam berat (Pati et al., 2023). Timbal yang terakumulasi pada *hepatopancreas* kepiting dapat mengganggu proses enzimatik sistem pencernaan dan penyerapan nutrisinya. Penyerapan nutrisi yang terhambat mengakibatkan nutrisi yang diperoleh dari pakan menjadi tidak optimal, sehingga menghambat pertumbuhan biomassa kepiting atau bahkan menyebabkan penurunan berat (Liu et al., 2014 ; Kristianto et al., 2021). Akumulasi timbal pada *Hepatopancreas* kepiting dapat masuk melalui saluran pencernaan melalui pakan yang terkontaminasi timbal dan dikonsumsi oleh kepiting. Tubuh kepiting menyerap logam berat dari makanan yang dicerna selama proses pencernaan dan kemudian terakumulasi pada organ *Hepatopancreas*, yang merupakan pusat penyerapan nutrisi dan metabolisme (Pati et al., 2023). Kerusakan seluler mengganggu fungsi penyerapan nutrisi dari makanan, sehingga membuat kepiting mengalami kekurangan gizi dan defisit energi. Sebagai pusat metabolisme, kerusakan organ *hepatopancreas* menyebabkan

kemampuan kepiting untuk menyimpan dan menggunakan energi menjadi tidak teratur (Amado et al., 2006 ; Pati et al., 2023).

Selain mengalami penurunan berat badan, pada penelitian juga tidak mengalami molting. Hal ini diduga ketika kepiting mengalami kekurangan energi untuk metabolisme, sinyal fisiologis akan dikirimkan ke sistem saraf pusat. Sistem saraf pusat akan memberikan rangsangan pada kelenjar Y-organ yang terdapat pada tangkai mata untuk terus melepaskan *Molt-Inhibiting Hormone* (MIH) yang menekan mekanisme pelepasan hormon *ecdysone*. Produksi hormon ini akan ditekan secara aktif, mengakibatkan kepiting menunda *moulting* dan mengalokasikan energi yang ada untuk fungsi vital yang lebih mendesak pada metabolismenya (Long et al., 2023). Tubuh kepiting mengalokasikan energi pada fungsi vital yang paling fundamental seperti respirasi, osmoregulasi, sistem saraf pusat, dan sirkulasi hemolimfanya (Long et al., 2023 ; Sanchez-Paz et al., 2006). Penurunan berat pada kelompok perlakuan kepiting dapat dikatakan menjadi bukti bahwa kepiting dalam kondisi defisit energi yang parah karena efek toksik yang diakibatkan oleh paparan timbal (Long et al., 2023).

4.1.2 Pertumbuhan Panjang Kepiting Bakau



Gambar 4. 2 Perubahan panjang kepiting selama 40 hari

Hasil grafik panjang kepiting tersebut menunjukkan panjang rata-rata kepiting yang diperoleh dari 3 pengulangan pada setiap perlakuan uji timbal. Pada 3 pengulangan perlakuan uji timbal 10 ppm, panjang rata-rata awal yaitu 4,4 cm pada hari ke-0 dan rata-rata panjang akhir 4,68 pada hari ke 40. Perlakuan uji timbal pada 20 ppm memiliki rata-rata panjang awal 4,83 cm pada hari ke-0 dan rata-rata panjang akhir 4,8 cm pada hari ke-25. Perlakuan 30 ppm memiliki rata-rata panjang awal 4,9 cm pada hari ke-0 dan panjang rata-rata pada hari terakhir 4,73 cm pada hari ke-11. Perlakuan kontrol dengan 0 ppm zat timbal memiliki panjang rata-rata awal 4,63 cm pada hari ke-0 dan panjang rata-rata 4,87 cm pada hari ke-40.

Berdasarkan data tersebut, diketahui pada perlakuan 20 ppm, kepiting mengalami penurunan panjang, sebesar 0,03 cm. Perlakuan 10 ppm memiliki pertumbuhan panjang sebesar 0,28 cm. Hal ini dikarenakan paparan timbal yang tinggi membuat kepiting kekurangan energi untuk pertumbuhannya. Berbeda dengan kondisi perlakuan 30 ppm, hasil yang ditunjukkan

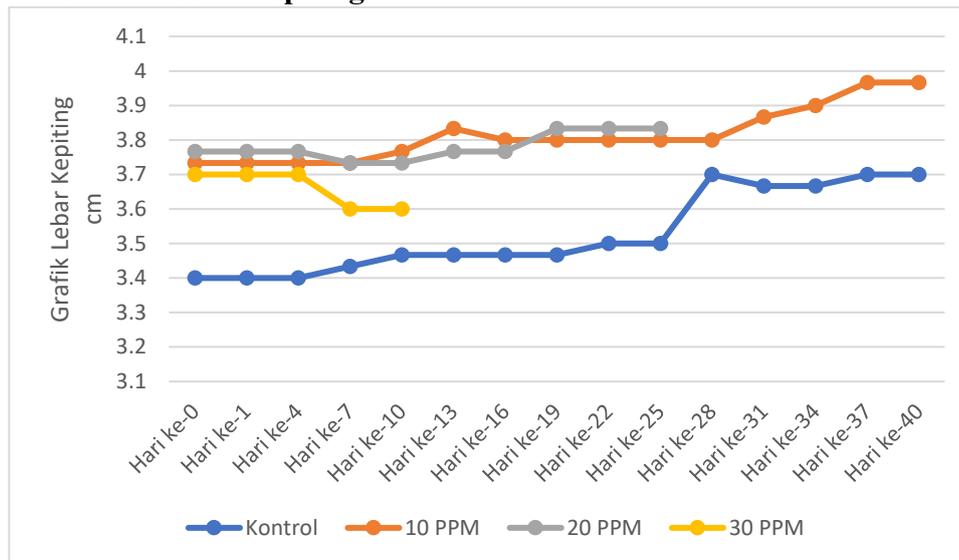
terdapat penurunan panjang sebesar 0,17 cm. Hasil tersebut dapat dipicu karena paparan timbal dengan konsentrasi tinggi yang akut menyebabkan kematian yang cepat pada kepiting dan kerusakan jaringan yang lebih parah (Vasanthi et al., 2014). Cadangan energi awal pada kepiting juga berpengaruh terhadap laju pertumbuhan kepiting. Cadangan energi yang lebih sedikit tentunya akan mengakibatkan individu lebih rentan daripada individu lain yang memiliki cadangan energi lebih besar, karena energi akan dialokasikan untuk metabolisme organ vital kepiting (Yang et al., 2015 ; Long et al., 2023).

Terlihat pada Gambar 4.2 pada perlakuan 20 dan 30 ppm terdapat penyusutan panjang yang signifikan dengan nilai Significancy $P < 0,05$ Penyusutan panjang yang terjadi pada kepiting adalah dampak yang didapatkan dari kadar timbal yang cukup tinggi (20 dan 30 ppm), mengakibatkan kepiting tidak dapat berkembang secara efisien. Kadar timbal yang menumpuk pada kepiting dapat merusak organ-organ kepiting seperti *hepatopancreas* dan Y-organ kepiting yang penting bagi pertumbuhan kepiting, sehingga beberapa fungsinya tidak dapat bekerja secara optimal (Razali et al., 2024).

Timbal dapat menghambat produksi hormon *ecdysone* yang berfungsi pada fase *moulting* dan pertumbuhan kepiting. Terhambatnya *ecdysone* berpengaruh pada eksoskeleton kepiting sehingga tidak dapat berkembang dengan optimal (Pati et al., 2023; Weis et al., 1992). Penyerapan kalsium dan nutrisi lainnya juga terhambat oleh keberadaan timbal yang menumpuk pada *hepatopancreas*. Penyaluran kebutuhan nutrisi kepiting untuk pertumbuhan akan terganggu akibat infeksi *hepatopancreas* (Liu et al., 2014). Metabolisme kalsium sangat penting bagi pertumbuhan eksoskeleton, jika kekurangan pertumbuhannya akan terganggu seperti pada Gambar 4.2.

Mekanisme utama dan yang paling berbahaya dari timbal adalah kemampuan ion timbal (Pb^{2+}) yang dapat meniru ion kalsium (Ca^{2+}). Ukuran dan muatan listrik ion timbal mirip dengan kalsium, memungkinkan menyamar dan mengambil alih peran kalsium (Sen & Karaytuğ, 2017). Kanal kalsium yang sensitif terhadap voltase, memungkinkan timbal membajak jalur sinyal utama sel. Timbal yang masuk mengganggu hampir seluruh proses yang bergantung pada kalsium, seperti pelepasan *neurotransmitter* saraf presinaptik (Sen & Karaytuğ, 2017). Proses *moulting* kepiting bergantung pada sistem saraf pusat untuk menginisiasi pengurangan produksi MIH (*Molt-Inhibiting Hormone*) yang nantinya akan meningkatkan produksi hormon *ecdysone* pada Y-organ kepiting. Ketika sistem saraf pusat mengalami gangguan akibat paparan timbal, hal tersebut tidak dapat terjadi, menyebabkan *moulting* tertunda dan bahkan merusak pembentukan eksoskeleton kepiting (Kusk & Wollenberger, 2007).

4.1.3 Pertumbuhan Lebar Kepiting Bakau



Gambar 4.3 Perubahan lebar kepiting selama 40 hari

Hasil grafik tersebut menunjukkan data rata-rata lebar kepiting yang diperoleh pada 3 pengulangan pada setiap perlakuan uji timbal. Pada perlakuan uji timbal 10 ppm, lebar rata-rata awal yaitu 3,73 cm pada hari ke-0 dan lebar rata-rata akhir yaitu 3,97 cm pada hari ke-40. Perlakuan 20 ppm memiliki lebar rata-rata awal 3,77 cm pada hari ke-0 dan lebar rata-rata akhir 3,83 cm pada hari ke 25. Pada perlakuan 30 ppm lebar rata-rata yang diperoleh adalah 3,7 cm dan lebar rata-rata akhir 3,6 cm pada hari ke-11. Pada perlakuan kontrol dengan 0 ppm zat timbal memiliki rata-rata lebar 3,4 cm pada hari ke-0 dan panjang rata-rata akhir 3,7 cm pada hari ke-40.

Perbedaan yang terdapat pada hari terakhir perlakuan 20 ppm yang hanya 25 hari dan pada 30 ppm yang hanya sampai pada hari ke 11 dikarenakan kepiting mengalami kematian. Paparan timbal yang tinggi pada kepiting menyebabkan kematian. Kematian kepiting dapat terjadi karena adanya organ kepiting yang rusak seperti pada insang yang menjadi organ pertama yang terpapar timbal secara langsung, juga pada organ *hepatopancreas* yang menjadi organ utama yang berperan untuk menyalurkan nutrisi pada kepiting (Liu et al., 2014). Paparan yang tinggi (20 dan 30 ppm) dapat menjadi racun yang merusak organ dan jaringan kepiting sehingga kinerjanya menurun dan dapat menyebabkan kematian (Liu et al., 2014).

Berdasarkan Gambar 4.3 juga tersebut menyatakan perlakuan 20 ppm mengalami penambahan lebar kepiting sebesar 0,06 dan 30 ppm memiliki penurunan lebar sebesar 0,1 cm. Namun, pada 10 ppm pertumbuhan lebar masih dapat berkembang dengan baik sebesar 0,24 cm. Tingginya kadar timbal menjadi faktor yang memengaruhi pertumbuhan bagi kepiting. Tingginya kadar ppm tersebut akan menyebabkan terganggunya organ *hepatopancreas* kepiting yang berperan aktif untuk metabolisme pertumbuhan kepiting, sehingga dengan kebutuhan energi yang terhambat membuat pertumbuhan kepiting terganggu. Stress akut yang terdapat pada perlakuan 30 ppm menyebabkan kerusakan jaringan yang parah, membuat penurunan lebar pada kepiting (Vasanthi et al., 2014).

Pada habitatnya, kepiting masih dapat bertahan dengan kondisi konsentrasi timbal 20 ppm (Kristianto et al., 2021), namun pada percobaan yang dilakukan didapatkan kepiting mengalami kematian. Kepiting pada habitatnya tidak terus-menerus terpapar timbal sebesar 20 ppm. Pada

habitat aslinya, kepiting dapat keluar dari air sebagai perilaku beristirahat yang membuatnya terhindar dari air yang terkontaminasi timbal. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan, kepiting terpapar secara terus menerus yang membuat stress yang berlebihan dan berujung pada kematian kepiting (Kristianto et al., 2021; Krishnaja & Joshi., 1987). Stress yang berkepanjangan membuat efek kronis yang parah dan dapat menyebabkan kematian (Vasanthi et al., 2014).

4.2 Perilaku Kepiting Bakau

Berikut merupakan tabel pengamatan perilaku kepiting yang diamati pada masa penelitian.

Tabel 4.1 Nilai perilaku kepiting

Perlakuan	Pengulangan	Hari Ke														
		0	1	4	6	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	40
Kontrol	Ke-1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Ke-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Ke-3	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10 ppm	Ke-1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
	Ke-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Ke-3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
20 ppm	Ke-1	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1
	Ke-2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-
	Ke-3	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	-	-	-
30 ppm	Ke-1	2	3	3	3	3	3	1	1	-	-	-	-	-	-	-
	Ke-2	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	-	-	-	-
	Ke-3	1	1	3	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Keterangan :

- 1 = Perilaku lemas dan kurang responsif
- 2 = Perilaku normal
- 3 = Perilaku agresif
- = Kematian pada kepiting

Observasi harian pada perilaku kepiting bakau (Tabel 4.1) menunjukkan perbedaan respon yang signifikan antar kelompok perlakuan. Kepiting perlakuan kontrol (0 ppm) menunjukkan perilaku normal yang konsisten, ditandai dengan respon aktif terhadap rangsangan dan nafsu makan yang baik. Pada kelompok perlakuan 10 ppm, kepiting sebagian besar masih memiliki perilaku yang normal, namun pada akhirnya menunjukkan respon yang lemah. Pada perlakuan 20 dan 30 ppm, perubahan perilaku yang ada menjadi cenderung lemas. Perilaku lemas ditunjukkan dengan kurang peka terhadap rangsangan yang diberikan, pergerakan minimal dan terlalu banyak berdiam diri ditempat. Pada perlakuan konsentrasi tertinggi (30 ppm) menunjukkan perilaku agresif secara tidak wajar, seperti mengangkat capit secara terus menerus tanpa ada rangsangan yang mengindikasikan adanya stress akut pada kepiting (Zakaria & Saragih, 2021).

Data *logbook* mencatat bahwasannya kepiting pada perlakuan 20 dan 30 ppm mengalami kematian sebelum penelitian berakhir. Sebelum mati, kepiting pada kelompok ini menunjukkan perubahan perilaku dari aktif menjadi lemas, tidak responsif, dan kehilangan nafsu makannya. Pada kelompok kontrol dan 10 ppm tingkat kelangsungan hidupnya 100% dengan perilaku yang

relatif normal. Perubahan perilaku yang terjadi menjadi lemas dan kurang responsif diduga akibat dari terganggunya aktivitas metabolisme dan efek *neurotoksik* dari paparan timbal. Aktivitas metabolisme kepiting akan terganggu akibat kerusakan organ internal yang disebabkan oleh paparan timbal. Pasokan energi untuk aktivitas metabolisme yang berkurang menyebabkan kepiting lebih pasif untuk menghemat energi (Sun et al., 2022). Disamping itu, efek *neurotoksik* dari paparan timbal juga dapat mengganggu sistem saraf, memperlambat transmisi sinyal, dan menurunkan tingkat kepekaan hewan (Sun et al., 2022).

Pada hasil pengamatan, kepiting juga memperlihatkan perilaku agresif yang ditunjukkan pada perlakuan 30 ppm dapat diartikan sebagai respons "*fight-or-flight*" akibat stress lingkungan yang ekstrem, dimana kepiting merasa terancam secara terus-menerus oleh kondisi toksik habitatnya (Long et al., 2023). Hal ini memengaruhi aktivitas hormon kepiting diakibatkan oleh paparan timbal akan memengaruhi aktivitas hormon kepiting, salah satunya adalah hormon CHH (*Crustacean hyperglycaemic hormone*), dimana CHH merupakan *neurohormone* stress utama pada krustasea. CHH dilepaskan oleh kompleks organ-X kelenjar sinus yang terdapat pada tangkai mata kepiting yang akan merespons berbagai jenis stressor. CHH akan meningkatkan kadar glukosa pada hemolimfa kepiting sebagai peran dalam merespons stress. Energi glukosa akan dengan cepat disediakan untuk jaringan kepiting agar dapat berfungsi secara optimal saat melawan atau melarikan diri (Chen et al., 2020). Selain CHH, senyawa neuroaktif lain juga terlibat, seperti katekolamin yang memodulasi stress dan sifat agresif kepiting. Katekolamin memobilisasi cadangan energi untuk dialirkan ke otot, sehingga kewaspadaan kepiting akan meningkat dan tubuh kepiting akan mempersiapkan untuk tindakan fisik yang cepat (Pande et al., 2014).

Perubahan perilaku yang diamati pada kepiting yang terpapar oleh logam berat timbal merupakan gangguan yang spesifik pada sistem *neurotransmitter*. Tidak hanya seluler umum yang rusak, timbal memengaruhi jalur biokimia yang mengatur hal seperti kontraksi otot hingga respon emosional (Fulton & Key, 2001). Sistem kolinergik atau sistem yang mengacu pada fisiologis dan farmakologis untuk mengaktifkan sistem saraf otonom, tepatnya pada saraf parasimpatis yang mengatur respon tubuh untuk beristirahat setelah beraktivitas dan menjaga keseimbangan antara aktivitas dan istirahat. ACh atau *asetilkolin* digunakan untuk mengontrol *neuromuscular* pada krustasea. Rileksnya otot dipicu oleh enzim *asetilkolinesterase* (AChE) yang ada pada sinaps untuk memecah ACh menjadi kolin dan asetat (Fulton & Key, 2001 ; Jemec et al., 2017). Timbal menghambat pelepasan ACh menjadi kolin dan asetat dengan berikatan dengan enzim AChE. Akumulasi ACh yang tidak terpecah menyebabkan stimulasi yang terjadi terus menerus pada reseptor pascasimpatik yang dapat menyebabkan kejang otot. Stimulasi yang berkepanjangan dapat menyebabkan kelelahan sinaptik yang mengakibatkan perilaku kurang responsif untuk berkontraksi dari respon yang diberikan (Fulton & Key, 2001 ; Jemec et al., 2017).

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Paparan timbal (Pb) pada konsentrasi tinggi (≥ 20 ppm) terbukti beracun bagi kepiting bakau, secara signifikan menghambat pertumbuhan dan menurunkan kelangsungan hidup.

- Pada perlakuan 10 ppm, kepiting masih menunjukkan pertumbuhan dengan pertambahan berat 7 gr, panjang 0,28 cm, dan lebar 0,24 cm, serta dapat bertahan hidup selama masa penelitian.
- Pada perlakuan 20 ppm, pertumbuhan mulai terhambat drastis, ditandai dengan penurunan berat 5,68 gr, pertumbuhan panjang 0,03 cm, dan terdapat penurunan lebar sebesar 0,06 cm dan rata-rata kelangsungan hidup hanya 30 hari.
- Pada perlakuan 30 ppm, kepiting mengalami penurunan pada semua parameter: berat turun 3,7 gr, panjang berkurang 0,17 cm, dan lebar berkurang 0,1 cm, dengan rata-rata kelangsungan hidup paling singkat, yaitu 19 hari.

Konsentrasi timbal yang tinggi ini menyebabkan stres fisiologis yang menghambat proses ganti kulit (*moulting*) dan pada akhirnya menyebabkan kematian.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut:

1. Disarankan melakukan penelitian lanjutan dengan variasi konsentrasi timbal (Pb) yang lebih luas, serta waktu paparan yang lebih panjang agar dapat dilihat dampak jangka panjang terhadap siklus hidup kepiting.
2. Perlu ditambahkan parameter fisiologis dan biokimia (seperti aktivitas enzim, kadar *hemolymph*, atau akumulasi Pb dalam jaringan) untuk memahami mekanisme toksisitas timbal yang lebih mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrilla, O., & Puspikawati, S. I. (2021). Uji Kandungan Pencemaran Timbal pada Hasil Laut di Kabupaten Banyuwangi. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 17(2), 59–65.
- Agustina, T. (2014). Kontaminasi logam berat pada makanan dan dampaknya pada kesehatan. *TEKNOBUGA: Jurnal Teknologi Busana Dan Boga*, 1(1).
- Alberts-Hubatsch, H., Lee, S. Y., Meynecke, J.-O., Diele, K., Nordhaus, I., & Wolff, M. (2016). Life-history, movement, and habitat use of *Scylla serrata* (Decapoda, Portunidae): current knowledge and future challenges. *Hydrobiologia*, 763, 5–21.
- Amado, E. M., Freire, C. A., & Souza, M. M. (2006). Osmoregulation and tissue water regulation in the freshwater red crab *Dilocarcinus pagei* (Crustacea, Decapoda), and the effect of waterborne inorganic lead. *Aquatic Toxicology*, 79(1), 1-8.
- Anandkumar, A., Nagarajan, R., Prabakaran, K., Bing, C. H., Rajaram, R., Li, J., & Du, D. (2019). Bioaccumulation of trace metals in the coastal Borneo (Malaysia) and health risk assessment. *Marine pollution bulletin*, 145, 56-66.
- Ario, R., Djunaedi, A., Pratikto, I., Subardjo, P., & Farida, F. (2019). Perbedaan Metode Mutilasi Terhadap Lama Waktu Molting *Scylla serrata*. *Buletin Oseanografi Marina*, 8(2), 103–108.
- Arisandy, K. R., Herawati, E. Y., & Suprayitno, E. (2012). Akumulasi logam berat timbal (Pb) dan gambaran histologi pada jaringan *Avicennia marina* (forsk.) Vierh di perairan pantai Jawa Timur. *Journal of Fisheries and Marine Research*, 1(1), 15–25.
- Biag, D. C., Mendoza Jr, A. B., Bobiles, R. U., Camaya, A. P., De Jesus, S. C., & Nieves, P. M. (2022). Tidal periodicity of molting in giant mud crab, *Scylla serrata* (forskål, 1775). *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 16(1), 122–132.
- Capparelli, M. V, Abessa, D. M., & McNamara, J. C. (2016). Effects of metal contamination in situ on osmoregulation and oxygen consumption in the mudflat fiddler crab *Uca rapax* (Ocypodidae, Brachyura). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 185, 102–111.
- Chen, H. Y., Toullec, J. Y., & Lee, C. Y. (2020). The crustacean hyperglycemic hormone superfamily: progress made in the past decade. *Frontiers in Endocrinology*, 11, 578958.
- Conrado, A. L. V., Iunes, R. S., Costa, M. S., da Silva Chagas, G., Castro, R., de Souza Abessa, D. M., da Silva, J. R. M. C., & Bordon, I. C. (2022). Adapted lead (Pb) histochemical detection procedure in tissue samples of blue crabs *Callinectes danae* (Smith, 1869). *Journal of Trace Elements and Minerals*, 2, 100022.
- Eka, H., & Mukono, J. (2017). Hubungan kadar timbal dalam darah dengan hipertensi pekerja pengecatan mobil di Surabaya. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 9(1), 66–74.
- Ferdiansyah, A., Ramadhan, H. A., Sofyan, S., Irjayanto, M. I., & Hidayatula, I. A. (2022). Ecological Aquaculture: Pengembangan Budidaya Kepiting Bakau Dengan Sistem Apartemen Silvofishery Di Hutan Mangrove Munjang Desa Kurau Barat Dan Aspek Hukumnya. *Jurnal Besaoh*, 2(02), 107–126.

- Fulton, M. H., & Key, P. B. (2001). Acetylcholinesterase inhibition in estuarine fish and invertebrates as an indicator of organophosphorus insecticide exposure and effects. *Environmental toxicology and chemistry*, 20(1), 37-45.
- Gagneten, A. M., Tumini, G., Imhof, A., & Gervasio, S. (2012). Comparative study of lead accumulation in different organs of the freshwater crab *Zilchiopsis oronensis*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223, 617–624.
- Gusnita, D. (2012). Pencemaran logam berat timbal (Pb) di udara dan upaya penghapusan bensin bertimbal. *Berita Dirgantara*, 13(3).
- Hosamani, N., Reddy, S. B., & Reddy, R. P. (2017). Crustacean molting: regulation and effects of environmental toxicants. *J Marine Sci Res Dev*, 7(5).
- Imayavaramban, L., Dhayaparan, D., & Devaraj, H. (2007). Molecular mechanism of molt-inhibiting hormone (MIH) induced suppression of ecdysteroidogenesis in the Y-organ of mud crab: *Scylla serrata*. *FEBS Letters*, 581(27), 5167–5172.
- Iromo, H., Amien, M., & Suliadi, S. (2019). Studi Budidaya Kepiting Soka (Soft Crab) di Tambak Tradisional Pulau Tarakan Kalimantan Utara. *Jurnal Borneo Saintek*, 2(1), 68–73.
- Jantrarotai, P., Sirisintruanich, K., Pripanapong, S., & Chayarat, C. (2006). Morphological study in zoeal stages of mud crabs: *Scylla olivacea* (Herbst, 1796). *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 40(2), 507–516.
- Jemec, A., Škufca, D., Prevorčnik, S., Fišer, Ž., & Zidar, P. (2017). Comparative study of acetylcholinesterase and glutathione S-transferase activities of closely related cave and surface *Asellus aquaticus* (Isopoda: Crustacea). *PLoS One*, 12(5), e0176746.
- Junaidi Zakaria, I., & Agustina Saragih, D. (2021). Observation of behavior and daily activity of the mud crab, *Scylla serrata* (Forskål, 1775) under control condition. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 25(3), 1079–1093.
- Kamaruzzaman, B. Y., John, B. A., Maryam, B. Z., Jalal, K. C. A., & Shahbuddin, S. (2012). Bioaccumulation of heavy metals (Cd, Pb, Cu and Zn) in *Scylla serrata* (forsskal 1775) collected from Sungai Penor, Pahang, Malaysia. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 35(1), 183–190.
- Krishnaja, A. P., Rege, M. S., & Joshi, A. G. (1987). Toxic effects of certain heavy metals (Hg, Cd, Pb, As and Se) on the intertidal crab *Scylla serrata*. *Marine environmental research*, 21(2), 109-119.
- Kristianto, D., Warsidah, W., & Nurdiansyah, I. (2021). Kandungan Logam Berat Merkuri (H) dan Timbal (Pb) Pada Kepiting Bakau (*Scylla serrata*) dan Sedimen di Wilayah Mangrove Kuala Singkawang Kalimantan Barat. *Jurnal Teknosains Kodepena*, 1(2), 64–73.
- Kunzmann, A., Schmid, M., & Yuwono, E. (2007). Routine respiration and activity of the Indonesian mangrove crab, *Scylla serrata* (Forskål, 1775)(Decapoda, Brachyura). *Crustaceana*, 77–95.

- Kusk, K. O., & Wollenberger, L. (2007). Towards an internationally harmonized test method for reproductive and developmental effects of endocrine disrupters in marine copepods. *Ecotoxicology*, *16*(1), 183-195.
- Liu, N., Wang, L., Yan, B., Li, Y., Ye, F., Li, J., & Wang, Q. (2014). Assessment of antioxidant defense system responses in the hepatopancreas of the freshwater crab *Sinopotamon henanense* exposed to lead. *Hydrobiologia*, *741*, 3–12.
- Long, Q., Liu, J., Sun, Y., Yang, Z., Tang, B., & Cheng, Y. (2023). The effect of food deprivation on foraging behavior and digestive and metabolic capacities of the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*. *Fishes*, *8*(1), 47.
- Mahdaliana, M., Salamah, S., & Muliani, M. (2022). Efektifitas hormon ekdisteroid melalui pakan dalam meningkatkan performa pertumbuhan dan reproduksi kepiting bakau (*Scylla* sp). *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, *9*(1), 6–11.
- Martinez, C. B. R., Alvares, E. P., Harris, R. R., & Santos, M. C. F. (1999). A morphological study on posterior gills of the mangrove crab *Ucides cordatus*. *Tissue and Cell*, *31*(3), 380–389.
- Masitoh, L. K., Latuconsina, H., & Zayadi, H. (2024). Kelimpahan dan Struktur Ukuran Kepiting Bakau (*Scylla Serrata*) Pada Habitat Mangrove Di Desa Banyuurip Kecamatan Ujung Pangkah Kabupaten Gresik. *Jurnal Ilmiah Biosaintropis (Bioscience-Tropic)*, *10*(1), 8–19.
- Meynecke, J.-O., & Richards, R. G. (2014). A full life cycle and spatially explicit individual-based model for the giant mud crab (*Scylla serrata*): a case study from a marine protected area. *ICES Journal of Marine Science*, *71*(3), 484–498.
- Nguyen, N. T. B., Wantiez, L., Lemaire, P., & Chim, L. (2022). Feed Efficiency, Tissue Growth and Energy Budget Changes during the Molting Cycle of Juvenile Mud Crab, *Scylla serrata*: Effects of Dietary Proteins, Fishmeal versus Soy Protein Concentrate. *Fishes*, *7*(6), 334.
- Osayande, O., & Zou, E. (2022). Lead inhibits postecdysial exoskeletal calcification in the blue crab (*Callinectes sapidus*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, *41*(2), 474–482.
- x
- Parkes, L., Quintio, E. T., & Le Vay, L. (2011). Phenotypic differences between hatchery-reared and wild mud crabs, *Scylla serrata*, and the effects of conditioning. *Aquaculture International*, *19*, 361–380.
- Pati, S. G., Paital, B., Panda, F., Jena, S., & Sahoo, D. K. (2023). Impacts of habitat quality on the physiology, ecology, and economical value of mud crab *Scylla* sp.: a comprehensive review. *Water*, *15*(11), 2029.
- Quintio, E. T., de la Cruz, J. J., Eguia, M. R. R., Parado-Estepa, F. D., Pates, G., & Lavilla-Pitogo, C. R. (2011). Domestication of the mud crab *Scylla serrata*. *Aquaculture International*, *19*, 237–250.
- Razali, N. S. M., Ikhwanuddin, M., Maulidiani, M., Gooderham, N. J., Alam, M., & Abd Kadir, N. H. (2024). Ecotoxicological impact of heavy metals on wild mud crabs (*Scylla olivacea*)

- in Malaysia: An integrative approach of omics, molecular docking and human risk assessment. *Science of The Total Environment*, 946, 174210.
- Sánchez-Paz, A., García-Carreño, F., Muhlia-Almazán, A., Peregrino-Uriarte, A. B., Hernández-López, J., & Yepiz-Plascencia, G. (2006). Usage of energy reserves in crustaceans during starvation: status and future directions. *Insect biochemistry and molecular biology*, 36(4), 241-249.
- 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. *Jurnal Fishtech*, 2(1), 46–52.
- Şen, G., & Karaytuğ, S. (2017). Effects of lead and selenium interaction on acetylcholinesterase activity in brain and accumulation of metal in tissues of *Oreochromis niloticus* (L., 1758). *Natural and Engineering Sciences*, 2(2), 21-32.
- Siahainenia, L. (2009). Struktur morfologis kepiting bakau (*Scylla paramamosain*). *Jurnal Triton*, 5(1), 11–21.
- Siahainenia, L., & Selanno, D. A. J. (2022). Performa Dan Karakter Morfologis Kepiting Bakau Yang Terpapar Logam Berat Di Ekosistem Mangrove Passo. *TRITON: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 18(2), 149–157.
- Sun, Q., Li, Y., Shi, L., Hussain, R., Mehmood, K., Tang, Z., & Zhang, H. (2022). Heavy metals induced mitochondrial dysfunction in animals: Molecular mechanism of toxicity. *Toxicology*, 469, 153136.
- Usman, E., Nur, A., Marunta, R. A., & Khatimah, K. (2024). Strategi Pengembangan Kepiting Soka (Soft Shell Crab) Di Kabupaten Kolaka. *Jurnal Intelek Dan Cendikiawan Nusantara*, 1(2), 1089–1098.
- Vasanthi, L. A., Muruganandam, A., Revathi, P., Baskar, B., Jayapriyan, K., Baburajendran, R., & Munuswamy, N. (2014). The application of histo-cytopathological biomarkers in the mud crab *Scylla serrata* (Forsk.) to assess heavy metal toxicity in Pulicat Lake, Chennai. *Marine Pollution Bulletin*, 81(1), 85-93.
- Waiho, K., Ikhwanuddin, M., Baylon, J. C., Jalilah, M., Rukminasari, N., Fujaya, Y., & Fazhan, H. (2021). Moulting induction methods in soft-shell crab production. *Aquaculture Research*, 52(9), 4026–4042.
- Weis, J. S., Cristini, A., & Ranga Rao, K. (1992). Effects of pollutants on molting and regeneration in Crustacea. *American Zoologist*, 32(3), 495–500.
- Wijaya, N. I., & Yulianda, F. (2010). Biologi populasi kepiting bakau (*Scylla serrata* F.) di habitat mangrove taman nasional kutai kabupaten kutai timur oleh. *Oseanologi Dan Limnologi Di Indonesia*, 36(3), 443–461.
- Yusni, E., & Sinaga, R. Z. (2018). Lead (Pb) and cadmium (Cd) contents in mangrove crab *Scylla serrata* collected from several traditional markets in Medan City, Indonesia. *Aceh Journal of Animal Science*, 3(2), 84–88.
- Zhao, Y.-F., Wen, Q.-Q., Ao, C.-M., Wang, W., Shi, L.-L., Wang, C.-G., & Chan, S.-F. (2022). Ecdysis triggering hormone, eclosion hormone, and crustacean cardioactive peptide play

essential but different roles in the molting process of mud crab, *Scylla paramamosain*.
Frontiers in Marine Science, 9, 855391.

LAMPIRAN

1. Hasil Penelitian

a. Hasil Penelitian Kontrol A

Hari ke	Berat	Panjang	Lebar	Perilaku
Aklimatisasi	124 gr	4,3 cm	3,1 cm	2
0	129 gr	4,5 cm	3,3 cm	2
1	131 gr	4,5 cm	3,3 cm	2
4	131 gr	4,5 cm	3,3 cm	2
7	133 gr	4,5 cm	3,4 cm	2
10	134 gr	4,6 cm	3,4 cm	2
13	134 gr	4,6 cm	3,4 cm	2
16	136 gr	4,6 cm	3,4 cm	2
19	139 gr	4,6 cm	3,4 cm	2
22	142 gr	4,6 cm	3,4 cm	2
25	143 gr	4,6 cm	3,4 cm	2
28	140 gr	4,6 cm	3,6 cm	2
31	141 gr	4,8 cm	3,6 cm	2
34	143 gr	4,8 cm	3,6 cm	2
37	144 gr	4,8 cm	3,6 cm	2
40	141 gr	4,8 cm	3,6 cm	2

b. Hasil Penelitian Kontrol B

Hari ke	Berat	Panjang	Lebar	Perilaku
Aklimatisasi	115 gr	4,4 cm	3,3 cm	2
0	121 gr	4,7 cm	3,5 cm	2
1	123 gr	4,7 cm	3,5 cm	2
4	125 gr	4,7 cm	3,5 cm	2
7	125 gr	4,7 cm	3,5cm	2
10	127 gr	4,7 cm	3,6 cm	2
13	130 gr	4,7 cm	3,6 cm	2
16	133 gr	4,7 cm	3,6 cm	2
19	130 gr	4,7 cm	3,6 cm	2
22	132 gr	4,7 cm	3,6 cm	2
25	134 gr	4,7 cm	3,6 cm	2
28	137 gr	4,9 cm	3,8 cm	2
31	134 gr	4,8 cm	3,7 cm	2
34	134 gr	4,8 cm	3,7 cm	2
37	137 gr	4,9 cm	3,8 cm	2
40	140 gr	4,9 cm	3,8 cm	2

c. Hasil Penelitian Kontrol C

Hari ke	Berat	Panjang	Lebar	Perilaku
Aklimatisasi	136 gr	4,4 cm	3,2 cm	1
0	140 gr	4,7 cm	3,4 cm	1
1	140 gr	4,7 cm	3,4 cm	1
4	136 gr	4,7 cm	3,4 cm	1
7	138 gr	4,7 cm	3,4 cm	1
10	141 gr	4,7 cm	3,4 cm	2
13	143 gr	4,7 cm	3,4 cm	2
16	143 gr	4,7 cm	3,4 cm	2
19	145 gr	4,7 cm	3,4 cm	2
22	146 gr	4,7 cm	3,5 cm	2
25	145 gr	4,7 cm	3,5 cm	2
28	146 gr	4,8 cm	3,7 cm	2
31	147 gr	4,8 cm	3,7 cm	2
34	147 gr	4,9 cm	3,7 cm	2
37	151 gr	4,9 cm	3,7 cm	2
40	151 gr	4,9 cm	3,7 cm	2

d. Hasil Penelitian 10 ppm A

Hari ke	Berat	Panjang	Lebar	Perilaku
Aklimatisasi	214 gr	4,7 cm	3,8 cm	2
0	218 gr	4,7 cm	3,9 cm	2
1	220 gr	4,7 cm	3,9 cm	2
4	221 gr	4,7 cm	3,9 cm	2
7	220 gr	4,7 cm	3,9 cm	2
10	215 gr	4,7 cm	3,9 cm	2
13	218 gr	4,8 cm	4,1 cm	2
16	217 gr	4,8 cm	4,1 cm	2
19	220 gr	4,8 cm	4,1 cm	2
22	221 gr	4,8 cm	4,1 cm	2
25	223 gr	4,8 cm	4,1 cm	2
28	225 gr	4,8 cm	4,1 cm	2
31	221 gr	4,8 cm	4,1 cm	2
34	224 gr	4,8 cm	4,1 cm	2
37	224 gr	4,9 cm	4,3 cm	2
40	225 gr	4,9 cm	4,3 cm	2

e. Hasil Penelitian 10 ppm B

Hari ke	Berat	Panjang	Lebar	Perilaku
Aklimatisasi	178 gr	4,4 cm	3,6 cm	2
0	183 gr	4,5 cm	3,8 cm	2
1	186 gr	4,5 cm	3,8 cm	2
4	188 gr	4,5 cm	3,8 cm	2
7	192 gr	4,5 cm	3,8 cm	2

10	190 gr	4,5 cm	3,8 cm	2
13	193 gr	4,5 cm	3,8 cm	2
16	194 gr	4,5 cm	3,7 cm	2
19	192 gr	4,5 cm	3,7 cm	2
22	190 gr	4,5 cm	3,7 cm	2
25	194 gr	4,5 cm	3,7 cm	2
28	194 gr	4,5 cm	3,7 cm	2
31	195 gr	4,5 cm	3,7 cm	2
34	194 gr	4,7 cm	3,8 cm	2
37	195 gr	4,7 cm	3,8 cm	2
40	195 gr	4,7 cm	3,8 cm	2

f. Hasil Penelitian 10 ppm C

Hari ke	Berat	Panjang	Lebar	Perilaku
Aklimatisasi	132 gr	3,9 cm	3,2 cm	2
0	141 gr	4,1 cm	3,5 cm	2
1	143 gr	4,1 cm	3,5 cm	2
4	144 gr	4,1 cm	3,5 cm	2
7	141 gr	4,1 cm	3,5 cm	2
10	138 gr	4,2 cm	3,6 cm	2
13	137 gr	4,2 cm	3,6 cm	2
16	140 gr	4,2 cm	3,6 cm	2
19	141 gr	4,2 cm	3,6 cm	2
22	139 gr	4,2 cm	3,6 cm	2
25	141 gr	4,2 cm	3,6 cm	2
28	143 gr	4,2 cm	3,6 cm	2
31	144 gr	4,4 cm	3,8 cm	2
34	142 gr	4,4 cm	3,8 cm	2
37	144 gr	4,4 cm	3,8 cm	2
40	143 gr	4,4 cm	3,8 cm	2

g. Hasil Penelitian 20 ppm A

Hari ke	Berat	Panjang	Lebar	Perilaku
Aklimatisasi	172 gr	4,5 cm	3,5 cm	2
0	180 gr	4,7 cm	3,8 cm	2
1	181 gr	4,7 cm	3,8 cm	2
4	182 gr	4,7 cm	3,8 cm	2
7	179 gr	4,7 cm	3,8 cm	2
10	181 gr	4,7 cm	3,8 cm	3
13	183 gr	4,7 cm	3,8 cm	3
16	180 gr	4,6 cm	3,8 cm	3
19	178 gr	4,6 cm	3,8 cm	3
22	178 gr	4,6 cm	3,8 cm	1
25	177 gr	4,6 cm	3,8 cm	1
28	176 gr	4,6 cm	3,8 cm	1
31	174 gr	4,6 cm	3,8 cm	1

34	173 gr	4,6 cm	3,8 cm	1
37	-	-	-	
40	-	-	-	

h. Hasil Penelitian 20 ppm B

Hari ke	Berat	Panjang	Lebar	Perilaku
Aklimatisasi	165 gr	4,7 cm	3,4 cm	1
0	172 gr	4,8 cm	3,7 cm	1
1	173 gr	4,8 cm	3,7 cm	1
4	176 gr	4,8 cm	3,7 cm	1
7	174 gr	4,7 cm	3,6 cm	1
10	174 gr	4,7 cm	3,6 cm	1
13	172 gr	4,7 cm	3,6 cm	1
16	170 gr	4,7 cm	3,6 cm	1
19	167 gr	4,7 cm	3,8 cm	1
22	169 gr	4,7 cm	3,8 cm	1
25	166 gr	4,7 cm	3,8 cm	1
28	-	-	-	-
31	-	-	-	-
34	-	-	-	-
37	-	-	-	-
40	-	-	-	-

i. Hasil Penelitian 20 ppm C

Hari ke	Berat	Panjang	Lebar	Perilaku
Aklimatisasi	182 gr	4,8 cm	3,6 cm	2
0	187 gr	5,0 cm	3,8 cm	2
1	188 gr	5,0 cm	3,8 cm	2
4	189 gr	5,0 cm	3,8 cm	2
7	188 gr	5,0 cm	3,8 cm	2
10	188 gr	5,0 cm	3,8 cm	2
13	186 gr	5,1 cm	3,9 cm	2
16	185 gr	5,1 cm	3,9 cm	1
19	183 gr	5,1 cm	3,9 cm	1
22	182 gr	5,1 cm	3,9 cm	1
25	179 gr	5,1 cm	3,9 cm	1
28	179 gr	5,1 cm	3,9 cm	1
31	177 gr	5,1 cm	3,9 cm	1
34	-	-	-	-
37	-	-	-	-
40	-	-	-	-

j. Hasil Penelitian 30 ppm A

Hari ke	Berat	Panjang	Lebar	Perilaku
Aklimatisasi	164 gr	4,5 cm	3,3 cm	2
0	167 gr	4,7 cm	3,4 cm	2
1	168 gr	4,7 cm	3,4 cm	3
4	166 gr	4,7 cm	3,4 cm	3
7	169 gr	4,6 cm	3,3 cm	3
10	165 gr	4,6 cm	3,3 cm	3
13	164 gr	4,6 cm	3,3 cm	3
16	161 gr	4,5 cm	3,2 cm	1
19	159 gr	4,5 cm	3,2 cm	1
22	-	-	-	-
25	-	-	-	-
28	-	-	-	-
31	-	-	-	-
34	-	-	-	-
37	-	-	-	-
40	-	-	-	-

k. Hasil Penelitian 30 ppm B

Hari ke	Berat	Panjang	Lebar	Perilaku
Aklimatisasi	194 gr	5,0 cm	3,7 cm	3
0	203 gr	5,2 cm	4,0 cm	3
1	203 gr	5,2 cm	4,0 cm	3
4	207 gr	5,2 cm	4,0 cm	3
7	203 gr	5,0 cm	4,0 cm	3
10	201 gr	5,0 cm	4,0 cm	3
13	197 gr	5,0 cm	4,0 cm	3
16	197 gr	4,8 cm	3,8 cm	3
19	195 gr	4,8 cm	3,8 cm	1
22	192 gr	4,8 cm	3,8 cm	1
25	190 gr	4,8 cm	3,8 cm	1
28	190 gr	4,8 cm	3,8 cm	1
31	-	-	-	-
34	-	-	-	-
37	-	-	-	-
40	-	-	-	-

l. Hasil Penelitian 30 ppm C

Hari ke	Berat	Panjang	Lebar	Perilaku
Aklimatisasi	159 gr	4,5 cm	3,4 cm	1
0	164 gr	4,8 cm	3,7 cm	1
1	165 gr	4,8 cm	3,7 cm	1
4	162 gr	4,8 cm	3,7 cm	3
7	160 gr	4,6cm	3,5 cm	1

10	157 gr	4,6 cm	3,5 cm	1
13	-	-	-	-
16	-	-	-	-
19	-	-	-	-
22	-	-	-	-
25	-	-	-	-
28	-	-	-	-
31	-	-	-	-
34	-	-	-	-
37	-	-	-	-
40	-	-	-	-

2. Uji SPSS

a. Uji Normalitas

Tests of Normality

Perlakuan	Statistic	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Panjang Kontrol	.385	3	.	.750	3	.000	
10PPM	.219	3	.	.987	3	.780	
20PPM	.	3	.	.	3	.	
30PPM	.	3	.	.	3	.	

a. Lilliefors Significance Correction

b. Non-Parametric Test

NPar Tests

Descriptive Statistics					
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum
Panjang	12	2.3833	2.49284	.00	4.90
Lebar	12	1.9167	2.00854	.00	4.30
Berat	12	82.9167	89.88827	.00	225.00
Perlakuan	12	2.50	1.168	1	4

c. Uji Kruskal-Wallis

Test Statistics^{a,b}

	Panjang	Lebar	Berat
Kruskal-Wallis H	9.991	10.347	10.182
df	3	3	3
Asymp. Sig.	.019	.016	.017

a. Kruskal Wallis Test

b. Grouping Variable: Perlakuan

d. Uji Man Whitney-U

Test Statistics^a

	Pengulangan	Berat	Panjang	Lebar
Mann-Whitney U	4.500	1.000	2.000	1.000
Wilcoxon W	10.500	7.000	8.000	7.000
Z	.000	-1.528	-1.159	-1.623
Asymp. Sig. (2-tailed)	1.000	.127	.246	.105
Exact Sig. [2*(1-tailed Sig.)]	1.000 ^b	.200 ^b	.400 ^b	.200 ^b

a. Grouping Variable: Perlakuan

b. Not corrected for ties.

BIODATA PENULIS



Perikanan Surabaya II.

Penulis dilahirkan di Surabaya, 13 Agustus 2002, merupakan anak tunggal dari pasangan ayah dan ibu. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK R.A Kartini, SD Al-Falah Surabaya, SMP Al-Falah Deltasari Sidoarjo, dan SMAN 18 Surabaya. Setelah lulus dari SMAN tahun 2021, Penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Biologi FSAD - ITS pada tahun 2021 dan terdaftar dengan NRP 5005211037.

Saat penulis berkuliah di ITS, penulis aktif mengikuti organisasi maupun kepanitiaan. Seluruh kegiatan kepanitiaan dan organisasi yang penulis ikuti membentuk karakter bagi penulis, seperti berani bertanggung jawab, *problem solving*, berpikir kritis, dan lain lain. Penulis juga pernah melakukan kerja praktek di Balai Karantina Ikan Pengendalian Mutu dan Keamanan Hasil