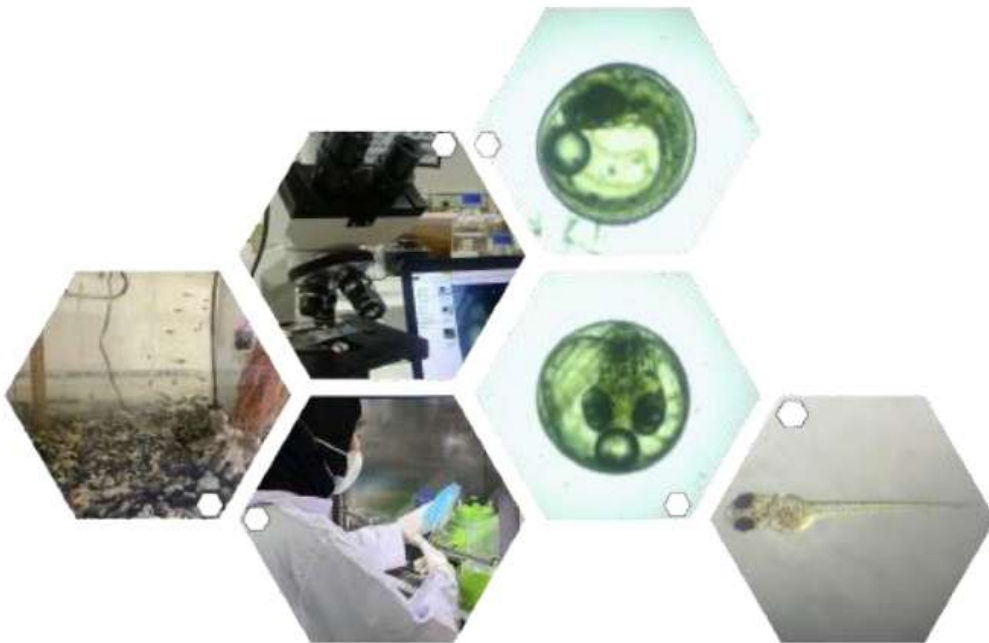


**DETEKSI TOKSISITAS BAHAN PENCEMAR *TRICLOSAN* YANG
TERADSORPSI PADA MIKROPLASTIK *POLYPROPYLENE* DENGAN
BIOMARKER SEDERHANA PADA EMBRIO IKAN *Oryzias javanicus*
(Bleeker, 1854)**

**DETECTION OF TOXICITY OF TRICLOSAN POLLUTANT ADSORBED
ON POLYPROPYLENE MICROPLASTICS USING SIMPLE
BIOMARKERS IN *Oryzias javanicus* (Bleeker, 1854) EMBRYOS**



**ANDI DINA HARDIANA
L012221014**



**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**DETEKSI TOKSISITAS BAHAN PENCEMAR *TRICLOSAN* YANG
TERADSORPSI PADA MIKROPLASTIK *POLYPROPYLENE* DENGAN
BIOMARKER SEDERHANA PADA EMBRIO IKAN *Oryzias javanicus*
(Bleeker, 1854)**

**ANDI DINA HARDIANA
L012221014**



**PROGRAM MAGISTER ILMU PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**DETECTION OF TOXICITY OF TRICLOSAN POLLUTANT ADSORBED
ON POLYPROPYLENE MICROPLASTICS USING SIMPLE
BIOMARKERS IN *Oryzias javanicus* (Bleeker, 1854) EMBRYOS**

**ANDI DINA HARDIANA
L012221014**



**MAGISTER PROGRAM FISHERIES SCIENCE
FACULTY OF MARINE SCIENCE AND FISHERIES
HASANUDDIN UNIVERSITY
MAKASSAR
2024**

**DETEKSI TOKSISITAS BAHAN PENCEMAR *TRICLOSAN* YANG
TERADSORPSI PADA MIKROPLASTIK *POLYPROPYLENE* DENGAN
BIOMARKER SEDERHANA PADA EMBRIO IKAN *Oryzias javanicus*
(Bleeker, 1854)**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi Magister Ilmu Perikanan

Disusun dan diajukan oleh

ANDI DINA HARDIANA
L012221014

Kepada

**PROGRAM MAGISTER ILMU PERIKANAN
FAKULTAS ILMU KELAUTAN DAN PERIKANAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

TESIS

DETEKSI TOKSISITAS BAHAN PENCEMAR *TRICLOSAN* YANG
TERADSORPSI PADA MIKROPLASTIK *POLYPROPYLENE* DENGAN
BIOMARKER SEDERHANA PADA EMBRIO IKAN *Oryzias javanicus*
(Bleeker, 1854)

ANDI DINA HARDIANA
L012221014

telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Magister pada tanggal 8 Mei 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi Magister Ilmu Perikanan
Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:

Pembimbing Utama

Prof. Dr. Ir. Khusnul Yaqin, M.Sc.
NIP 196807261994031002

Pembimbing Pendamping,

Dr. Sri Wahyuni Rahim, S.T., M.Si.
NIP 197509152003122002

Ketua Program Studi
Magister Ilmu Perikanan,

Dr. Ir. Badraeni, M.P.
NIP 196510231991032001

Dekan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan
Universitas Hasanuddin,

Prof. Safruddin, S.Pi., MP., Ph.D.
NIP 197506112003121003



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul "Deteksi Toksisitas Bahan Pencemar *Triclosan* yang Teradsorpsi pada Mikroplastik *Polypropylene* dengan Biomarker Sederhana pada Embrio Ikan *Oryzias javanicus* (Bleeker, 1854)" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Prof. Dr. Ir. Khusnul Yaqin, M.Sc dan Dr. Sri Wahyuni Rahim, S.T., M.Si). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di *Journal of Sustainability Science and Management* sebagai artikel dengan judul "Detection of Toxicity of Triclosan Pollutant Adsorbed on Polypropylene Microplastics Using Simple Biomarkers in The Embryos of *Oryzias javanicus* (Bleeker, 1854)". Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 30 April 2024


METERAI
TEMPEL
Andi Dina Hardiana
L012221014

Ucapan Terima Kasih

Penelitian yang saya lakukan dapat terlaksana dengan sukses dan tesis ini dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan Prof. Dr. Ir. Khusnul Yaqin, M.Sc sebagai pembimbing utama, Dr. Sri Wahyuni Rahim, S.T., M.Si sebagai pembimbing pendamping, Dr. Ir. Suwarni, M.Si sebagai penguji pertama, Dr. Ir. Shinta Werorilangi, M.Sc sebagai penguji kedua dan Dr. Ir. Muh. Farid Samawi, M.Si sebagai penguji ketiga, saya ucapkan terima kasih. Ucapan terima kasih juga saya haturkan kepada Ibu Prof. Dr. Ir. Joeharnani Tresnati, DEA yang telah mengizinkan saya untuk melakukan penelitian di Laboratorium Fisiologi Hewan Air.

Kepada seluruh staf dan pengajar Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan khususnya para dosen Program Studi Magister Ilmu Perikanan yang turut membantu dan memberikan saran pada penyusunan tesis ini saya ucapkan terima kasih.

Akhirnya, kepada kedua orang tua tercinta Ayah Peltu Baharuddin dan Ibu Rosdiana, S.Pd, saudara tercinta Andi Amelia Septiana saya mengucapkan terima kasih atas segala doa, motivasi dan pengorbanan secara moril dan materil selama saya menempuh pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada tim peneliti Oryzias yaitu Meimulya, S.Pi dan Yulia Indasari Lalombo, S.Pi serta teman-teman S2 Ilmu Perikanan yang turut membantu, memberikan motivasi dan dukungan yang tak ternilai.

Penulis,



Andi Dina Hardiana

ABSTRAK

ANDI DINA HARDIANA. **Deteksi toksisitas bahan pencemar *triclosan* yang teradsorpsi pada mikroplastik *polypropylene* dengan biomarker sederhana pada embrio ikan *Oryzias javanicus* (Bleeker, 1854)** (dibimbing oleh Khusnul Yaqin dan Sri Wahyuni Rahim).

Latar Belakang. Mikroplastik merupakan salah satu polutan utama yang memiliki kemampuan menyerap polutan lain seperti *triclosan*, yang berpotensi sebagai vektor penyebaran *triclosan* di lingkungan perairan. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis biomarker embrio ikan *Oryzias javanicus* yang sensitif dalam mendeteksi *triclosan* yang menempel pada mikroplastik *polypropylene*. **Metode.** Perlakuan yang digunakan meliputi Perlakuan A, menggunakan *Embryo Rearing Medium* (ERM) sebagai kontrol; Perlakuan B, menggunakan ERM dan Dimetil Sulfoksida (ERM + DMSO); Perlakuan C, menggunakan larutan *triclosan* (TCS); Perlakuan D, menggunakan mikroplastik *polypropylene* (MP); dan Perlakuan E, menggunakan campuran mikroplastik *polypropylene* dan *triclosan* (MP + TCS). Biomarker yang diamati meliputi jumlah somit, detak dan ukuran jantung, laju penyerapan kuning telur, waktu penetasan, panjang total tubuh larva yang baru menetas, dan tingkat kelangsungan hidup embrio. **Hasil.** Hasil menunjukkan perbedaan signifikan ($P < 0,05$) pada detak jantung, waktu penetasan, panjang total tubuh larva yang baru menetas, dan tingkat kelangsungan hidup bagi yang terpapar MP + TCS. Namun, biomarker lainnya tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P > 0,05$). **Kesimpulan.** Penelitian ini menyoroti potensi detak jantung, waktu penetasan, dan panjang total tubuh larva *O. javanicus* sebagai biomarker sederhana untuk digunakan sebagai biomarker sederhana dalam biomonitoring berbasis efek.

Kata kunci: Biomarker; *Oryzias javanicus*; embryo; mikroplastik; *triclosan*

ABSTRACT

ANDI DINA HARDIANA. **Detection of toxicity of triclosan pollutant adsorbed on polypropylene microplastics using simple biomarkers in *Oryzias javanicus* (Bleeker, 1854) embryos** (supervised by Khusnul Yaqin and Sri Wahyuni Rahim).

Background. Microplastics are one of the main pollutants with the ability to adsorb other pollutants such as triclosan, potentially as vectors for the spread of triclosan in aquatic environments. **Aim.** This study aimed to analyze *Oryzias javanicus* embryo biomarkers that are sensitive in detecting the triclosan adsorbed on polypropylene microplastics. The treatments used included Treatment A, using Embryo Rearing Medium (ERM) as control; Treatment B, using ERM and Dimethyl Sulfoxide (ERM + DMSO); Treatment C, using triclosan solution (TCS); Treatment D, using polypropylene microplastics (MP); and Treatment E, using mixture of polypropylene microplastics and triclosan (MP + TCS). The observed biomarkers included number of somites, heart rate and size, yolk absorption rate, hatching time, total body length of the newly hatched larvae, and embryo survival rate. **Results.** The results showed a significant difference ($P < 0.05$) in heart rate, hatching time, total body length of the newly hatched larvae, and embryo survival rate for those exposed to PP + TCS. However, other biomarkers did not show a significant difference ($P > 0.05$). **Conclusion.** This study highlights that heart rate, hatching time, total body length of the newly hatched larvae of *O. javanicus* embryos have the potential to be used as biomarkers for effect-based biomonitoring.

Keywords: Biomarker; *Oryzias javanicus*; embryo; microplastic; triclosan

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR ISTILAH	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Kegunaan	2
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Teori	3
1.4.1 Ikan <i>Oryzias javanicus</i>	3
1.4.2 Embrio <i>Oryzias</i> sebagai Model dalam Ekotoksikologi	4
1.4.3 Mikroplastik di Perairan	5
1.4.4 Bahan Antimikroba <i>Triclosan</i> di Perairan	8
1.4.5 Adsorpsi dan Efek Pemaparan bersama Mikroplastik dan Antimikroba ..	9
1.4.6 Biomarker Sederhana	11
1.5 Kerangka Pikir	13
BAB II. METODE PENELITIAN	15
2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	15
2.2 Alat dan Bahan	15
2.3 Prosedur Penelitian	16
2.3.1 Persiapan Induk <i>Oryzias javanicus</i>	16
2.3.2 Persiapan Embrio <i>Oryzias javanicus</i>	16
2.3.3 Persiapan Mikroplastik dan <i>Triclosan</i> (TCS)	17

2.3.4 Rancangan Percobaan.....	17
2.4 Parameter Penelitian.....	19
2.4.1 Jumlah Somit	19
2.4.2 Detak Jantung dan Ukuran Jantung.....	19
2.4.3 Laju Penyerapan Kuning Tekur.....	20
2.4.4 Waktu Penetasan, <i>Hatching Time</i> ₅₀ dan Gerakan Rahang	20
2.4.5 Panjang Larva Awal Menetas.....	20
2.4.6 Kelangsungan Hidup	21
2.5 Analisis Data	21
BAB III. HASIL	22
3.1 Jumlah Somit	22
3.2 Detak Jantung dan Ukuran Jantung	23
3.3 Laju Penyerapan Kuning Telur.....	25
3.4 Waktu Penetasan, <i>Hatching Time</i> ₅₀ dan Gerakan Rahang.....	25
3.5 Panjang Larva Awal Menetas.....	27
3.6 Kelangsungan Hidup.....	28
BAB IV. PEMBAHASAN	30
4.1 Jumlah Somit	30
4.2 Detak Jantung dan Ukuran Jantung	31
4.3 Laju Penyerapan Kuning Telur.....	32
4.4 Waktu Penetasan, <i>Hatching Time</i> ₅₀ dan Gerakan Rahang.....	32
4.5 Panjang Larva Awal Menetas.....	34
4.6 Kelangsungan Hidup.....	35
BAB V. PENUTUP	36
5.1 Kesimpulan	36
5.2 Saran.....	36
DAFTAR PUSTAKA.....	37
LAMPIRAN	46
<i>CURRICULUM VITAE</i>	56

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Ikan Medaka Jawa, <i>Oryzias javanicus</i>	4
2. Gambar mikroskopis partikel mikroplastik	6
3. Jalur masuk mikroplastik ke perairan.....	7
4. Kerangka pikir penelitian	14
5. Lokasi pengambilan sampel ikan <i>Oryzias javanicus</i>	15
6. Telur ikan <i>Oryzias celebensis</i> yang telah terbuahi	17
7. Desain eksperimen	18
8. Somit embrio <i>O. javanicus</i>	19
9. Cara pengukuran panjang larva awal menetas	21
10. Jumlah somit embrio <i>Oryzias javanicus</i>	22
11. Detak jantung embrio <i>O. javanicus</i> pada setiap perlakuan	23
12. Ukuran jantung embrio <i>O. javanicus</i> pada setiap perlakuan.....	24
13. Laju penyerapan kuning telur <i>O. javanicus</i> pada setiap perlakuan.....	25
14. Waktu penetasan <i>O. javanicus</i> pada setiap perlakuan	26
15. <i>Hatching time</i> ₅₀ embrio <i>O. javanicus</i>	27
16. Panjang larva <i>O. javanicus</i> pada setiap perlakuan	28
17. Tingkat kelangsungan hidup embrio <i>O. javanicus</i>	29
18. Mikroplastik pada korion embrio <i>O.javanicus</i>	30

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Dokumentasi penelitian.....	46
2. Data dan hasil analisis statistik jumlah somit.....	47
3. Data dan hasil analisis statistik detak jantung dan ukuran jantung.....	48
4. Data dan hasil analisis statistik laju penyarapan kuning telur.....	53
5. Data dan hasil analisis statistik waktu penetasan.....	53
6. Data dan hasil analisis statistik panjang larva awal menetas.....	54
7. Data kelangsungan hidup.....	54

DAFTAR ISTILAH

Istilah	Arti dan Penjelasan
Adsorpsi	proses menempelnya molekul, atom, atau partikel dari suatu zat (yang disebut adsorbat) pada permukaan zat lain yang disebut adsorben.
Biomarker	respon biologis dari organisasi biologis suatu organisme terhadap tekanan lingkungan
Biomonitoring	proses penggunaan organisme hidup atau komponen organisme hidup untuk memonitor atau mengevaluasi tingkat paparan terhadap zat-zat kimia tertentu di lingkungan
Bradikardia	detak jantung yang lebih lambat dari normal
Hidrofobik	sifat kimia dari molekul atau material yang cenderung menghindari atau tidak bersentuhan dengan air
Kardiovaskular	sistem tubuh manusia atau hewan yang terdiri dari jantung dan pembuluh darah, yang bekerja bersama-sama untuk memompa dan mengalirkan darah ke seluruh tubuh
Takikardia	detak jantung yang lebih cepat dari normal

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plastik memiliki peran penting dalam kehidupan sehari-hari. Hal ini dapat dilihat dari penggunaan plastik dalam peralatan medis sekali pakai, kemasan makanan, dan berbagai teknologi lainnya (Ricciardi et al., 2021). Namun, seringkali plastik dibuang ke lingkungan, baik yang berasal dari limbah industri plastik, limbah medis dari rumah sakit, sampah dari daerah wisata maupun limbah domestik. Plastik yang dibuang ke lingkungan akan mengalami degradasi dan menjadi partikel plastik yang lebih kecil karena proses pelapukan. Partikel plastik dengan ukuran 0,1 μm hingga 5 mm disebut mikroplastik (Gupta et al., 2022; Syranidou & Kalogerakis, 2022).

Mikroplastik merupakan salah satu polutan utama di perairan baik perairan tawar maupun laut (Gupta et al., 2022). Keberadaan mikroplastik di perairan terus meningkat karena sifat *non-degradability* yang mengarah pada akumulasi serta adsorpsi polutan lainnya pada permukaan mikroplastik (Gupta et al., 2022). Salah satu sumber mikroplastik yang mendapat perhatian sejak pandemi COVID-19 berasal dari penggunaan *disposable face mask (DFMs)* atau masker wajah sekali pakai yang ditemukan melepaskan banyak mikroplastik ke lingkungan baik darat maupun perairan (Fadare & Okoffo, 2020). Peningkatan limbah masker wajah sekali pakai diakui sebagai sumber kontaminan baru yang terkait langsung dengan pandemi COVID-19 (Sullivan et al., 2021).

Mikroplastik dapat mengadsorpsi polutan lain seperti bahan antimikroba (Atugoda et al., 2021). Hal ini menjadikan mikroplastik berpotensi menjadi vektor penyebaran bahan antimikroba di perairan (Zhang et al., 2020). Penelitian Lin et al, (2022) menjelaskan bahwa serat plastik *polypropylene* (PP) merupakan komponen utama lapisan masker wajah sekali pakai yang dapat mengadsorpsi *triclosan* (TCS) melalui mekanisme interaksi hidrofobik. *Triclosan* merupakan salah satu bahan antimikroba yang secara luas banyak digunakan dalam produk perawatan pribadi seperti pasta gigi, sabun, deodorant, kosmetik, dan lotion perawatan kulit (Yuan et al., 2020). Produktivitas *triclosan* meningkat secara signifikan karena tingginya permintaan disinfektan sejak merebaknya pandemi COVID-19 sehingga akan menghasilkan limbah perkotaan yang akan masuk ke perairan (Yin et al., 2022). *Triclosan* bersifat persisten sehingga akan berada di lingkungan dalam waktu yang lama (Wang & Liang, 2021). Beberapa penelitian telah menunjukkan efek dari mikroplastik *polypropylene* dan *triclosan* (Lei et al., 2018; Ma et al., 2020; Song et al., 2020; Stenzel et al., 2019)

Paparan *polypropylene* menyebabkan kerusakan pada usus ikan zebra seperti kerusakan vili dan enterosit (Lei et al., 2018), paparan *triclosan* pada ikan zebra dapat mengubah perilaku reproduksi yang menyebabkan penurunan fekunditas (Stenzel et al., 2019), embrio *Oryzias latipes* yang terpapar *triclosan* menyebabkan kelainan morfologis pada tahap awal kehidupan (Song et al., 2020), penelitian Ma

et al, (2020), menemukan bahwa paparan gabungan *polypropylene* dan *triclosan* menyebabkan akumulasi *triclosan* yang lebih tinggi serta lebih memperburuk metabolisme ikan zebra dibandingkan dengan paparan *polypropylene* atau *triclosan* saja.

Sejauh ini belum ada penelitian yang menunjukkan deteksi *triclosan* yang teradsorpsi pada mikroplastik *polypropylene* khususnya menggunakan biomarker pada organisme model seperti embrio. Biomarker adalah respon biologis dari organisasi biologis suatu organisme terhadap tekanan lingkungan (Yaqin, 2019). Penggunaan biomarker pada embrio dipilih karena fase embrio merupakan fase yang paling rentan atau sensitif (Chen et al., 2020) sehingga diharapkan dapat memberikan respon biologis terhadap tekanan lingkungan secara cepat. Salah satu model untuk penelitian *in vivo* alternatif yang baik dan memiliki potensi besar yaitu embrio ikan *Oryzias javanicus* (Merino et al., 2020). Ikan *Oryzias javanicus* merupakan spesies lokal Indonesia yang memiliki beberapa keunggulan dibandingkan hewan model lainnya misalnya produktif, tidak ada batasan dalam musim pemijahan, kematangannya hanya membutuhkan waktu 2 – 3 bulan (Lin et al., 2016), memiliki telur besar dan transparan sehingga perkembangan embrio mudah diamati di bawah mikroskop, penggunaan embrio menghasilkan limbah yang lebih sedikit, dan menunjukkan respon individual (Yaqin et al., 2021;Puspitasari, 2016).

Penelitian ini memberikan pemahaman bahwa stadia akhir embriogenesis merupakan stadia paling sensitif terhadap paparan, dengan biomarker seperti detak jantung, waktu penetasan, dan panjang larva awal menetas terbukti sensitif dalam mendeteksi mikroplastik *polypropylene* dan *triclosan* sebagai bahan pencemar. Diharapkan hasil ini dapat menjadi referensi atau rujukan yang berharga dalam pengembangan metode biomonitoring berbasis efek untuk menghadapi tantangan pencemaran lingkungan.

1.2 Tujuan dan Kegunaan

Tujuan penelitian ini yaitu:

1. Untuk menganalisis stadia embriogenesis yang sensitif terhadap toksisitas bahan pencemar *triclosan* yang teradsorpsi pada mikroplastik *polypropylene*
2. Untuk menganalisis biomarker yang sensitif dalam mendeteksi toksisitas bahan pencemar *triclosan* yang teradsorpsi pada mikroplastik *polypropylene*
3. Untuk menganalisis efek bahan pencemar *triclosan* yang teradsorpsi pada mikroplastik *polypropylene* menggunakan embrio *Oryzias javanicus*

Kegunaan dari penelitian ini yaitu dapat dijadikan sebagai referensi atau rujukan stadia embriogenesis yang sensitif dan biomarker sederhana yang paling tepat dalam penggunaan embrio ikan *Oryzias javanicus* sebagai model *in vivo* untuk biomonitoring berbasis efek.

1.3 Rumusan Masalah

Keberadaan mikroplastik di perairan terus meningkat (Gupta et al., 2022). Salah satu sumber mikroplastik yang mendapat perhatian sejak pandemi COVID-19 berasal dari penggunaan *disposable face mask (DFMs)* atau masker wajah sekali pakai yang ditemukan melepaskan banyak mikroplastik ke lingkungan baik darat maupun perairan (Fadare & Okoffo, 2020). Mikroplastik dapat mengadsorpsi polutan lain seperti bahan antimikroba (Atugoda et al., 2021). Hal ini menjadikan mikroplastik berpotensi sebagai vektor penyebaran bahan antimikroba di perairan (Zhang et al., 2020). Penelitian Lin et al, (2022) menjelaskan bahwa serat plastik *polypropylene* (PP) merupakan komponen utama lapisan masker wajah sekali pakai yang dapat mengadsorpsi bahan antimikroba salah satunya yaitu *triclosan* (TCS) melalui mekanisme interaksi hidrofobik.

Beberapa penelitian telah menunjukkan efek dari mikroplastik *polypropylene* dan *triclosan* (Lei et al., 2018; Sheng et al., 2021; Song et al., 2020; Stenzel et al., 2019). Sejauh ini belum ada penelitian yang menunjukkan deteksi bahan antimikroba yang teradsorpsi pada mikroplastik khususnya menggunakan organisme model seperti embrio. Biomarker pada embrio digunakan karena tahap ini dianggap paling rentan atau sensitif (Chen et al., 2020) sehingga diharapkan dapat memberikan respon biologis terhadap tekanan lingkungan secara cepat. Ikan *Oryzias javanicus* merupakan salah satu ikan yang memiliki potensi besar untuk dijadikan sebagai model dalam penelitian *in vivo* (Merino et al., 2020). Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Stadia berapa dari embriogenesis yang sensitif terhadap bahan pencemar mikroplastik *polypropylene* dan *triclosan* ?
2. Biomarker apa yang sensitif dalam mendeteksi toksisitas bahan pencemar mikroplastik *polypropylene* dan *triclosan* ?
3. Bagaimana efek bahan pencemar *triclosan* yang teradsorpsi pada mikroplastik *polypropylene* menggunakan embrio *Oryzias javanicus* ?

1.4 Teori

1.4.1 Ikan *Oryzias javanicus*

Klasifikasi ikan *Oryzias javanicus* menurut ITIS (2022), yaitu sebagai berikut:

Kingdom	: Animalia
Subkingdom	: Bilateria
Infrakingdom	: Deuterostomia
Filum	: Chordata
Subfilum	: Vertebrata
Superkelas	: Actinopterygii
Kelas	: Teleostei
Superordo	: Acanthopterygii
Ordo	: Beloniformes
Subordo	: Adrianichthyoidei

Famili : Adrianichthyidae
 Subfamili : Oryziinae
 Genus : *Oryzias*
 Spesies : *Oryzias javanicus* (Bleeker, 1854)

Ikan medaka Jawa atau *Oryzias javanicus* (Gambar 2), merupakan ikan medaka yang pada umumnya ditemukan di perairan tawar, namun merupakan salah satu spesies ikan medaka yang mampu beradaptasi untuk hidup di perairan payau maupun laut (Hilgers & Schwarzer, 2019). Ikan ini digunakan sebagai organisme model di laboratorium dan menjadi hewan uji ikan laut dalam toksikologi dan ekotoksikologi (Amal et al., 2018; Herjayanto et al., 2019). Ikan medaka jawa dewasa memiliki ukuran panjang sekitar 3 – 4 cm. Tubuh ikan ini transparan, sehingga organ internalnya dapat diamati (Yusof et al., 2013), mempunyai garis kuning submarginal pada bagian dorsal dan ventral dari sirip ekornya (Angel et al., 2019).



Gambar 1. Ikan Medaka Jawa, *Oryzias javanicus*. (a) Jantan (b) Betina (Angel et al., 2019)

1.4.2 Embrio *Oryzias* sebagai Model dalam Ekotoksikologi

Ikan *Oryzias javanicus* merupakan salah satu spesies lokal Indonesia yang berpotensi sebagai hewan model pada studi ekotoksikologi (Puspitasari et al., 2018). Saat ini, ikan *Oryzias javanicus* secara luas digunakan sebagai hewan uji ikan laut dalam toksikologi dan ekotoksikologi (Amal et al., 2018). Ikan ini juga digunakan sebagai organisme model baru yang mewakili daerah tropis dalam studi toksikologi perairan (Kamarudin et al., 2019). Korion telur ikan medaka terdiri atas dua lapisan yaitu lapisan luar yang tipis dan lapisan dalam yang tebal. Enzim penetasan pada ikan medaka hanya mencerna lapisan dalam korion yang prosesnya terdiri dari dua langkah yaitu pembengkakan koriolitik yang disebabkan oleh HCE (*High Choriolytic Enzyme*) dan perusakan struktur bengkak oleh LCE (*Low Choriolytic Enzyme*) dan enzim *pactacin*, produksi ketiga enzim ini secara bersama menjadikan waktu penetasan dan keberhasilan penetasan embrio *Oryzias celebensis* berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai biomarker untuk studi ekotoksikologi (Yaqin et al., 2022)

Penggunaan ikan sebagai indikator untuk pencemaran sangat dianjurkan karena sensitivitas yang berbeda ditemukan pada semua tahap kehidupan ikan

medaka terhadap pencemaran lingkungan (Chen et al., 2020). Ikan *Oryzias* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan hewan model lainnya. Misalnya produktif, tidak ada batasan dalam musim pemijahan, embrio transparan, dan kematangannya hanya membutuhkan waktu 2 – 3 bulan (Lin et al., 2016).

Selain ikan dewasa, embrio dan larva ikan *Oryzias* juga dapat dijadikan biomonitoring pencemaran perairan. Dilihat dari perkembangannya, embrio lebih sensitif terhadap toksikan dengan konsentrasi rendah dibandingkan dengan ikan dewasa (Chen et al., 2020; Yusof et al., 2013), sehingga embrio ikan medaka dapat digunakan sebagai model *in vivo* yang baik (Merino et al., 2020).

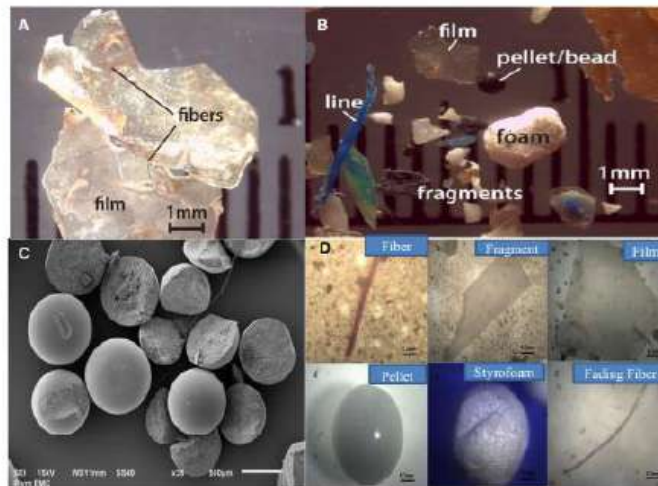
Penggunaan embrio *Oryzias* sebagai organisme model memiliki banyak keuntungan yaitu biaya rendah dan hemat waktu (Merino et al., 2020), perubahan morfologi dan fisiologi yang abnormal, tingkat metabolisme tinggi, penyimpanan energi rendah, kemampuan migrasi yang rendah dan sangat tergantung pada faktor lingkungan sekitar (Ibrahim et al., 2020), telur ikan ini besar dan transparan sehingga memudahkan dalam mengamati fase-fase perkembangannya (Puspitasari, 2016) Selain itu, embrio ikan *Oryzias* lebih sensitif, menghasilkan sangat sedikit limbah, dan menunjukkan respon individual (Yaqin et al., 2021).

Dalam kondisi laboratorium, tahap perkembangan embrio yang berbeda dapat dengan mudah diproduksi dan eksperimental paralel dapat dilakukan. Oleh karena itu, sejumlah besar analisis dapat diuji pada waktu yang sama. Ukuran embrio kecil sehingga pengujian hanya dilakukan pada 24-well plates, hasil uji embrio dapat diperoleh dengan cepat, dan titik akhir sub-lethal mudah untuk dikenali (RV, 2022).

1.4.3 Mikroplastik di Perairan

Mikroplastik (MP) merupakan partikel plastik berukuran mikron (~5000 μm) (Kabir et al., 2021). Mikroplastik diklasifikasikan menjadi dua kategori yaitu mikroplastik primer dan mikroplastik sekunder (Gupta et al., 2022; Laermanns et al., 2021). Mikroplastik primer sengaja diproduksi, misalnya untuk keperluan industri, sementara mikroplastik sekunder berasal dari fragmentasi benda makroplastik oleh paparan cahaya, panas, gesekan atau organisme (Fan et al., 2019; Waldschläger et al., 2020).

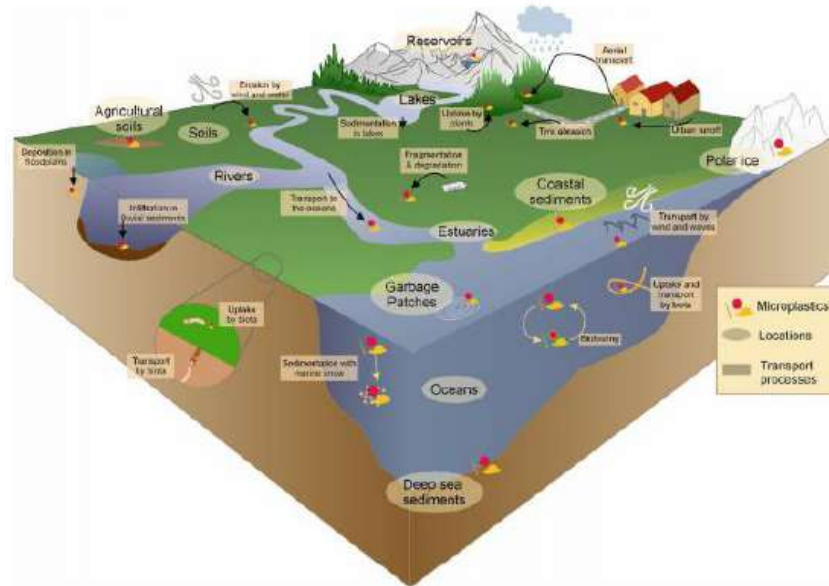
Mikroplastik memiliki ukuran yang berbeda yaitu berada dalam kisaran 0,1 μm hingga 5 mm, dan telah terdeteksi baik di perairan tawar maupun laut (Gupta et al., 2022). Mikroplastik ditemukan dalam berbagai bentuk (Gambar 3) seperti serpihan, lembaran, serat, pellet, dan busa (Gupta et al., 2022; Kabir et al., 2021). Mikroplastik juga ditemukan dalam berbagai warna di antaranya biru, putih, hijau, merah, hitam dan abu-abu (Kabir et al., 2021). Tipe polimer mikroplastik diantaranya *Vinylon*, *Polyvinyl alcohol* (PVA), *Polyurethane* (PU), *Polycarbonate* (PC), *Polystyrene* (PS), *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), *Polyvinyl chloride* (PVC), *Polyethylene terephthalate* (PET), *Polyamide/nylon* (PA), *Polymethyl methacrylate* (PMMA), *Polytetrafluoroethylene* (PTFE) (Gupta et al., 2022; Kabir et al., 2021)



Gambar 2. Gambar mikroskopis partikel mikroplastik (Gupta et al., 2022)

Sumber mikroplastik bermacam-macam, begitu juga jalur mikroplastik. Mikroplastik dapat diangkut oleh limpasan permukaan dari daerah pertanian, emisi udara dari industri, maupun limbah baik yang berasal dari limbah industri plastik, limbah biomedis dari rumah sakit, sampah dari daerah wisata, dan limbah domestik, dan dilepaskan dari pembuangan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) (Gupta et al., 2022; Laermanns et al., 2021; Syranidou & Kalogerakis, 2022). Meskipun IPAL menyaring lebih dari 90% mikroplastik, namun masih menyumbangkan bagian tertentu dari partikel mikroplastik untuk sistem fluvial. Hanya sekitar 20% dari air limbah yang diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air (PBB, 2018), sehingga air limbah secara umum harus dianggap sebagai jalur masuk penting mikroplastik ke badan air.

Sungai mengangkut mikroplastik ke lautan. Transportasi mikroplastik di sungai terutama tergantung pada dua faktor yaitu sifat partikel dan kondisi aliran air. Berbeda dengan sedimen alami yang memiliki kerapatan rata-rata $2,65 \text{ kg/m}^3$, mikroplastik dapat lebih ringan (misalnya PE, PP, EPS) atau lebih berat (misalnya PS, PET, PVC) daripada air, akibatnya partikel dapat mengapung atau tenggelam begitu mikroplastik masuk ke dalam air (Laermanns et al., 2021). Mikroplastik dapat masuk ke laut melalui sungai, sumber pesisir atau laut dan dapat didistribusikan dari lokasi sumber melalui arus laut, angin dan gelombang, atau mengendap di dasar sedimen (Gambar 4) (Waldschläger et al., 2020).



Gambar 3. Jalur masuk mikroplastik ke perairan (Waldschläger et al., 2020)

Keberadaan mikroplastik di perairan terus meningkat, hal ini karena sifat *non-degradability* yang mengarah pada akumulasi mikroplastik (Gupta et al., 2022) serta mikroplastik bertindak sebagai vektor dalam adsorpsi polutan kimia lainnya dan polutan organik persisten yang terbawa air pada permukaan mikroplastik yang dapat meningkatkan risiko polusi mikroplastik (Kabir et al., 2021). Kontaminan yang teradsorpsi ke permukaan mikroplastik dapat lepas dalam tubuh organisme dan berpotensi menyebabkan efek toksik (Sarijan et al., 2021). Mikroplastik mudah dicerna oleh organisme perairan karena ukuran, bentuk, dan warnanya mirip dengan makanan organisme tersebut, terutama plankton. Asupan mikroplastik dapat menyebabkan kerusakan pada organisme akuatik (Chen et al., 2020). Li et al, (2018a) menunjukkan bahwa PE, PS, PP, PA, dan PVC adalah yang paling sering terdeteksi.

Salah satu sumber mikroplastik yang mendapat perhatian sejak pandemi COVID-19 adalah penggunaan masker sekali pakai. meningkatnya produksi dan penggunaan masker wajah di seluruh dunia akibat merebaknya pandemi COVID-19 telah menimbulkan tantangan baru bagi lingkungan. Beberapa dari bahan ini masuk ke lingkungan perairan baik perairan tawar maupun laut. Masker wajah sekali pakai yang dibuang ke lingkungan seperti dibuang ke TPA, tempat pembuangan sampah, perairan tawar, laut, atau tempat umum dapat menjadi sumber baru partikel atau serat mikroplastik, karena dapat terurai menjadi lebih kecil (Fadare & Okoffo, 2020).

Penggunaan masker wajah sekali pakai secara massal telah menimbulkan kekhawatiran luas atas timbulnya limbah plastik dalam jumlah besar yang kemungkinan besar akan menjadi sumber mikroplastik sekunder (MPs, <5 mm) atau bahkan nanoplastik (NP, <1 μm) (Ma et al., 2021). Mikroplastik dapat dilepaskan dari masker wajah sekali pakai. Serat plastik yang terikat longgar pada kain masker merupakan penyebab signifikan pelepasan mikroplastik dari masker wajah sekali pakai (Chen et al., 2021). Sebagian besar masker wajah sekali

diproduksi dari polimer seperti *polypropylene* (PP), *polyurethane* (PU), *polyacrylonitrile* (PAN), *polystyrene* (PS), *polycarbonate* (PC), *polyethylene* (PE), dan *polyethylene terephthalate* (PET) (Chen et al., 2021). Bahan yang paling umum digunakan dalam pembuatan masker wajah adalah serat PP (Ma et al., 2021).

Beberapa penelitian telah menunjukkan efek dari mikroplastik (Chen et al., 2020; Chen et al., 2022; Wang et al., 2021). Pemaparan mikroplastik *polystyrene* (PS) secara signifikan menurunkan tingkat penetasan, menunda waktu penetasan, dan menginduksi bradikardia/takikardia yang berbeda pada tahap perkembangan embrio dan menyebabkan abnormalitas pada jantung embrio ikan, serta penurunan panjang dan berat larva *Oryzias melastigma* (Chen et al., 2020; Wang et al., 2021). Penelitian Chen et al, (2022) menjelaskan bahwa mikroplastik PS menyebabkan waktu penetasan yang lebih singkat dan penurunan tingkat penetasan, karena sejumlah besar mikroplastik menempel pada permukaan korion, menipiskan atau melunakkan membran embrio *Oryzias melastigma*, sehingga mempercepat proses pemecahan cangkang larva.

Meskipun partikel PS tidak dapat menembus korion embrio *zebrafish*, namun partikel nanoplastik membentuk lapisan padat yang akan mempengaruhi pori-pori korion. Hal ini dapat mengurangi ketersediaan oksigen untuk embrio *zebrafish* sehingga menyebabkan lingkungan mikro hipoksia di ruang dalam korion. Kondisi hipoksia menyebabkan peningkatan denyut jantung pada organisme. Kondisi hipoksia dan gerakan spontan embrio *zebrafish* yang melemah merupakan faktor yang dapat menyebabkan tertunda atau gagalnya penetasan embrio (Duan et al., 2020). Larva *Oryzias melastigma* yang terpapar mikroplastik benzo(a)pyrene menunjukkan pertumbuhan berkurang, peningkatan perkembangan anomali dan perilaku abnormal (Le Bihanic et al., 2020).

1.4.4 Bahan Antimikroba *Triclosan* di Perairan

Antimikroba adalah agen terapeutik yang dimanfaatkan dalam upaya pencegahan dan pengobatan infeksi yang disebabkan oleh mikroorganisme seperti bakteri, virus, jamur, dan protozoa yang meliputi antiseptik, antibiotik, antiviral, antijamur, dan antiparasit (Di Martino, 2022). Setiap tahun, beberapa ribu ton antimikroba dan produk sampingnya dilepaskan ke lingkungan, khususnya ke lingkungan perairan (Felis et al., 2020). Selain itu, beberapa antimikroba memiliki tingkat ketahanan yang cukup tinggi di lingkungan, yang mempermudah penyebaran dan akumulasi mereka di berbagai kompartemen (Di Martino, 2022).

Triclosan (TCS) adalah suatu agen antimikroba buatan yang memiliki spektrum luas, artinya dapat menghambat atau membunuh berbagai jenis mikroorganisme. Senyawa ini memiliki sifat antibiotik, yang berarti dapat melawan pertumbuhan bakteri, dan juga sifat antimikotik, yang berarti dapat menghambat pertumbuhan jamur (Chemicals, 2001). Pelepasan utama TCS ke lingkungan disebabkan oleh produk perawatan pribadi yang mengandung sekitar 0,1% hingga 0,3% (berat/berat) TCS yang biasanya diaplikasikan secara eksternal pada tubuh manusia, sehingga

TCS umumnya tidak mengalami perubahan metabolisme (Dhillon et al., 2015). Selain itu, biasanya dilepaskan ke dalam air limbah domestik, sehingga akhirnya masuk ke instalasi pengolahan air limbah domestik (IPAL).

Sejak pandemi COVID-19, penggunaan *triclosan* semakin meluas dan tingkat *triclosan* di perairan semakin meningkat. *Triclosan* merupakan salah satu polutan baru yang mendapatkan perhatian di dunia. *Triclosan* di lingkungan perairan berasal dari penggunaan disinfektan rumah sakit, limbah produksi produk perawatan pribadi dan penggunaannya oleh manusia. Produktivitas *triclosan* meningkat secara signifikan karena tingginya permintaan disinfeksi sejak merebaknya pandemi COVID-19 (Yin et al., 2022).

Triclosan banyak digunakan dalam produk perawatan pribadi seperti pasta gigi, sabun, deodorant, kosmetik, dan lotion perawatan kulit (Yuan et al., 2020). Penggunaan disinfektan akan menghasilkan limbah perkotaan yang mengandung *triclosan* yang akan masuk ke perairan. *Triclosan* bersifat persisten sehingga *triclosan* akan berada di lingkungan dalam waktu yang lama. TCS membutuhkan waktu yang cukup lama untuk terurai secara alami atau hilang dari lingkungan tanpa adanya pengaruh tambahan atau perlakuan khusus (Mulla et al., 2020). *Triclosan* merupakan bahan kimia organik hidrofobik dan lipofilik sehingga dapat larut memalui tanah dan dengan demikian akan menyebabkan polusi air tanah. TCS sering kali terdeteksi di sungai, laut, dan perairan permukaan lainnya, meskipun TCS memiliki sifat lipofilik yang baik dan mudah diserap ke dalam sedimen dan lumpur limbah (Yin et al., 2022). Selama proses migrasinya, *triclosan* dapat berubah menjadi produk seperti metil triclosan (MTCS) dan dioksin, yang lebih sulit didegradasi dan toksisitasnya lebih besar (Wang & Liang, 2021).

Paparan *triclosan* pada ikan zebra (*Danio rerio*) dapat mengubah perilaku reproduksi yang menyebabkan penurunan fekunditas, keturunan dari ikan yang terpapar *triclosan* menunjukkan penurunan kelangsungan hidup dan pematangan yang tertunda (Stenzel et al., 2019). Embrio *Oryzias latipes* yang terpapar *triclosan* menyebabkan kelainan morfologis pada tahap awal kehidupan seperti kantung kuning telur yang membesar, penurunan sudut batang kepala, dan edema parah di daerah perikardial (Song et al., 2020). Detak jantung embrio *zebrafish* pada 72 jam setelah penetasan secara signifikan meningkat dalam kelompok TCS 2 µg/L, sementara secara signifikan menurun dalam kelompok yang paparkan dengan TCS 250 µg/L dibandingkan dengan kontrol (Liu et al., 2022).

1.4.5 Adsorpsi dan Efek Paparan bersama Mikroplastik dan Antimikroba

Setelah dilepaskan ke lingkungan, mikroplastik berinteraksi dengan banyak bahan kimia, banyak diantaranya diklasifikasikan sebagai kontaminan organik atau logam. Beberapa kontaminan memiliki afinitas untuk mikroplastik, dikaitkan dengan mekanisme penyerapan tertentu, dan dengan demikian mikroplastik menjadi vektor bahan kimia berbahaya (Torres et al., 2021). Baru-baru ini, mikroplastik telah ditemukan dapat mengadsorpsi dan menyerap antimikroba (Xu et al., 2018). Yan et al (2020) mengemukakan bahwa kapasitas adsorpsi mikroplastik PS meningkat

terhadap penambahan konsentrasi *tetracycline*. Adsorpsi antimikroba pada mikroplastik dapat menyebabkan efek jangka panjang dan dapat menyebabkan efek kombinasi senyawa serta berfungsi sebagai pembawa transportasi jarak jauh (Li et al., 2018a).

Proses penyerapan *triclosan* pada mikroplastik diatur oleh beberapa mekanisme seperti interaksi hidrofobik dan interaksi elektrostatis (Cortés-Arriagada & Ortega, 2023). Interaksi hidrofobik adalah salah satu mekanisme penyerapan yang dominan, dimana terjadi daya tarik antara zat *non-polar* yang menyebabkan zat-zat tersebut berkumpul atau berkelompok (Torres et al., 2021). Interaksi hidrofobik menggambarkan daya tarik molekul non-polar (atau sedikit polar) ke permukaan mikroplastik *non-polar* (Tourinho et al., 2019). Sebagian besar polimer mikroplastik yang ditemukan di lingkungan bersifat hidrofobik, seperti PS, PE, PP, atau PET (Torres et al., 2021). Seperti disebutkan di atas, sudut kontak PP-MP lebih besar dibandingkan PE-MP dan PVC-MP, hal ini menunjukkan bahwa PP-MPs memiliki hidrofobitas yang lebih kuat dan dapat menyerap lebih banyak TCS.

Dalam interaksi elektrostatis, tarik-menarik antar partikel terjadi melalui molekul bermuatan berlawanan atau tolakan oleh molekul dengan muatan yang sama (Tourinho et al., 2019). Peningkatan pH larutan umumnya dikaitkan dengan daya tarik elektrostatis yang lebih kuat, sehingga meningkatkan kapasitas penyerapan. Hal ini disebabkan oleh potensial zeta, yang menggambarkan potensial listrik permukaan dan dipengaruhi oleh pH (Xu et al., 2018). Ketika pH titik muatan nol material lebih rendah dari pH medium, permukaannya menjadi bermuatan negatif dan cenderung menarik bahan kimia bermuatan positif (Liu 2018). Sebagian besar plastik, seperti PP, PS, dan PE, memiliki pH yang lebih rendah daripada pH sebagian besar media akuatik, yang meningkatkan adsorpsi bahan kimia bermuatan positif (Torres et al., 2021).

Mikroplastik PS ditemukan meningkatkan bioakumulasi roxithromycin pada jaringan ikan nila merah (*Oreochromis niloticus*) dibandingkan dengan paparan roxithromycin saja (Zhang et al., 2019). Paparan oral terhadap *polystyrene* dan *tetracycline* menghasilkan bioakumulasi signifikan *tetracycline* dalam jaringan tubuh *E. crypticus* (Ma et al., 2020). Distribusi *tetracycline* in vivo dipengaruhi oleh keberadaan mikroplastik dalam waktu 48 jam. Kelompok paparan *tetracycline* menunjukkan konsentrasi *tetracycline* yang tinggi di usus ikan *Cyprinus carpio*, sedangkan kelompok paparan bersama *tetracycline* dan mikroplastik menunjukkan konsentrasi *tetracycline* di hati. Mikroplastik bertindak sebagai pembawa *tetracycline* ke jaringan yang lain secara metabolik (Zhang et al., 2021). Penelitian Sheng et al., (2021) menjelaskan bahwa pemaparan gabungan *polypropylene* dan *triclosan* menyebabkan akumulasi *triclosan* yang lebih tinggi pada ikan zebra serta lebih memperburuk metabolisme ikan zebra dibandingkan dengan pemaparan *polypropylene* dan *triclosan* saja.

1.4.6 Biomarker Sederhana

Biomarker adalah respon biologis dari organisasi biologis suatu organisme terhadap tekanan lingkungan (Yaqin, 2019). Biomarker sangat sensitif terhadap konsentrasi stressor yang sangat rendah, fluktuasinya dapat dipantau dan dibandingkan dengan rentang normal, pendekatan yang kuat serta hemat biaya untuk mendapatkan informasi tentang keadaan lingkungan dan dampak pencemaran terhadap sumber daya hayati (Rudneva, 2013). Biomarker yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu jumlah somit, diameter telur, volume kuning telur, laju penyerapan kuning telur, detak dan ukuran jantung, panjang larva awal penetasan, waktu penetasan dan kelangsungan hidup atau *survival rate* dari embrio *Oryzias javanicus*.

Penelitian Zoupa & Macher (2017) menjelaskan bahwa abnormalitas perkembangan struktur saraf tulang belakang dapat dikaitkan dengan cacat awal dalam pembentukan somit yang akan menyebabkan kelainan bentuk otot dan rangka. Akibatnya, ketidakaturan dalam batas somit bersama dengan serat otot yang tidak teratur dapat menjadi penyebab utama yang berkontribusi pada pengurangan panjang tubuh embrio ikan zebra yang terpapar triadimefon. Selain itu, cacat perkembangan seperti kelengkungan tulang belakang (*spinal curvature*) juga dapat dikaitkan dengan cacat awal dalam pembentuk somit. Penetasan juga dapat terhambat atau tertunda bisa jadi akibat penurunan aktivitas gerak (Wang et al., 2020) yang dapat disebabkan karena kelainan somitik (Zoupa & Macher 2017).

Toksikan dapat mengubah tingkat penggunaan nutrisi pada embrio. Hal ini memiliki implikasi penting bagi embrio yang sedang berkembang dalam hal ketersediaan nutrisi dan metabolisme. Embrio memiliki kebutuhan metabolisme lebih tinggi karena paparan toksikan atau racun mungkin akan menghabiskan kuning telur sebelum waktunya sehingga jika pengangkutan serapan kuning telur terhambat atau jika jumlahnya tidak cukup, maka pemanfaatan kuning telur akan terganggu sehingga menimbulkan lingkungan kelaparan (Sant & Timme-Laragy, 2018). Pengukuran dimensi kuning telur embrio ikan zebra dapat digunakan untuk menghitung tingkat penyerapan nutrisi dan mengidentifikasi agen yang mengganggu mobilisasi nutrisi dari kantung kuning telur ke dalam embrio yang sebenarnya. Kuning telur bersifat lipofilik sehingga menyediakan kompartemen yang ideal dimana toksikan hidrofobik dapat terakumulasi dan memfasilitasi paparan embrio selama periode pemberian makan berbasis kuning telur. Gangguan pada pemanfaatan kuning telur berpotensi menjadi indikasi kondisi metabolisme (Schwartz et al., 2021).

Toksikan pertama kali akan berinteraksi dengan korion dari embrio yang bertindak sebagai penghalang antara lingkungan internal dan eksternal embrio (Chen et al., 2020). Korion telur ikan medaka terdiri atas dua lapisan yaitu lapisan luar yang tipis dan lapisan dalam yang tebal. Enzim penetasan di medaka hanya mencerna lapisan dalam korion yang prosesnya terdiri dari dua langkah yaitu pembengkakan koriolitik yang disebabkan oleh HCE (*High Choriolytic Enzyme*) dan

perusakan struktur bengkak oleh LCE (*Low Choriolytic Enzyme*) dan enzim *pactacin*, produksi ketiga enzim ini secara bersama menjadikan waktu penetasan dan keberhasilan penetasan embrio *Oryzias celebensis* berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai biomarker untuk studi ekotoksikologi (Yaqin *et al.*, 2022). Penelitian Chen *et al.* (2022) menjelaskan bahwa tingkat penetasan embrio *O. melastigma* yang terpapar mikroplastik *polystyrene* sebesar 0,5 dan 6,0 μm secara signifikan lebih rendah daripada kontrol, hal ini karena mikroplastik dapat menempel pada vili dan pori-pori membrane dan mengganggu pertukaran gas embrio.

Organ lain yang rentan terhadap tekanan lingkungan dijelaskan pada penelitian Chen *et al.* (2022) yaitu jantung yang merupakan salah satu organ pertama yang mengalami organogenesis dan tekanan lingkungan dapat mengakibatkan detak jantung embrio yang tidak normal. Pemaparan mikroplastik *polystyrene* (PS) secara signifikan menurunkan tingkat penetasan, menunda waktu penetasan, dan menginduksi bradikardia/takikardia yang berbeda pada tahap perkembangan embrio dan menyebabkan abnormalitas pada jantung embrio ikan, serta penurunan panjang dan berat larva *Oryzias melastigma* (Chen *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2021). Selain dapat mempengaruhi detak jantung, bahan pencemar dapat memengaruhi ukuran jantung seperti pada penelitian Yan *et al.*, (2019) bahwa terdapat gejala representatif yaitu *pericardial edema* pada ikan zebra yang terpapar antibiotik tilmicosin (TMS) mulai dari konsentrasi 1,25 mg/L hingga 40 mg/L. Kemudian pada penelitian Le Bihanic *et al.*, (2020) bahwa paparan mikroplastik *polyethylene* menurunkan kelangsungan hidup (*survival rate*) embrio *Oryzias melastigma* dan mencegah penetasan.

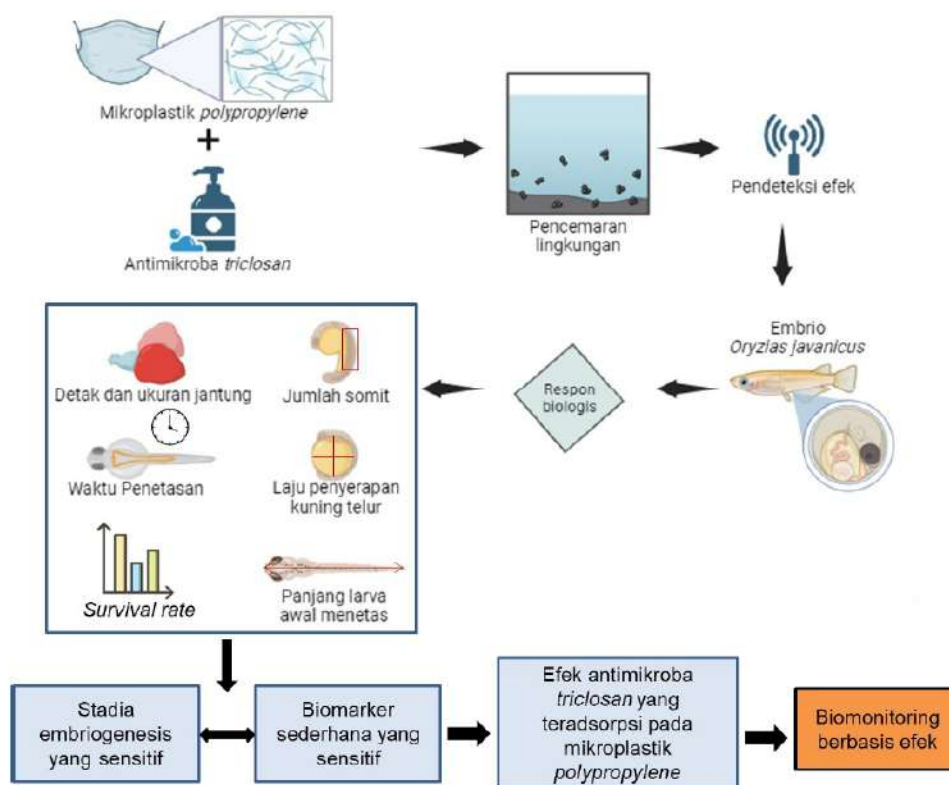
Berdasarkan penjelasan-penjelasan di atas, ditemukan bahwa *endpoints* atau biomarker saling berkaitan satu sama lain. Namun, waktu penetasan diduga menjadi biomarker yang paling sensitif dan paling mudah untuk dilihat dampaknya akibat paparan bahan pencemar (Yaqin *et al.*, 2022). Hal ini karena kompleksitas respon-respon biologis atau kerusakan yang lain akibat paparan bahan pencemar akan memengaruhi waktu penetasan yang diduga akan menjadi terhambat atau mungkin lebih cepat. Berkaitan dengan hal itu, fase embriogenesis yang diduga paling sensitif adalah fase-fase akhir atau fase sebelum menetas. Hal ini karena kerusakan fase akhir merupakan akumulasi dari kerusakan pada fase awal dan fase tengah (Yaqin *et al.*, 2024).

Selanjutnya, efek bahan antibiotik *triclosan* yang terserap oleh mikroplastik *polypropylene* diduga akan memberikan efek yang lebih toksik bagi perkembangan embrio *Oryzias javanicus*. Hal ini sesuai dengan penelitian Sheng *et al.*, (2021) menemukan bahwa pemaparan gabungan *polypropylene* dan *triclosan* menyebabkan akumulasi *triclosan* yang lebih tinggi serta lebih memperburuk metabolisme ikan zebra dibandingkan dengan pemaparan *polypropylene* atau *triclosan* saja.

1.5 Kerangka Pikir

Kerangka pikir penelitian mengenai deteksi bahan pencemar mikroplastik *polypropylene* dan *triclosan* terhadap perkembangan embrio *Oryzias javanicus* dapat dilihat pada Gambar 4.

Mikroplastik *polypropylene* yang berasal dari degradasi *disposable face mask* (DFMs) atau masker wajah sekali ditemukan dapat mengadsorpsi polutan lain seperti *triclosan* (Lin et al., 2022). Kedua bahan tersebut ditemukan sebagai polutan di perairan yang dapat menyebabkan pencemaran (Sullivan et al., 2021; Yin et al., 2020). Perlu dilakukan pendeteksi efek menggunakan model in vivo alternatif yang baik dan memiliki potensi besar yaitu embrio *Oryzias javanicus* yang dijadikan sebagai biomarker. Biomarker adalah respon biologis dari organisasi biologis suatu organisme terhadap tekanan lingkungan (Yaqin, 2019). Biomarker yang dianalisis yaitu jumlah somit, laju penyerapan kuning telur, detak dan ukuran jantung, panjang larva awal penetasan, waktu penetasan serta *survival rate*. Biomarker akan diamati pada setiap stadia. Dari beberapa respon biologis tersebut, maka akan ditemukan stadia embriogenesis yang sensitif dan biomarker sederhana yang sensitif dari embrio *Oryzias javanicus* untuk mendeteksi bahan pencemar *triclosan* yang teradsorpsi pada mikroplastik *polypropylene* sehingga dapat digunakan untuk biomonitoring berbasis efek.



Gambar 4. Kerangka pikir penelitian