

**EFEK MIKROPLASTIK POLIPROPILEN (PP) DAN LOGAM BERAT
KADMIUM (Cd) TUNGGAL DAN KOMBINASI KEDUANYA PADA
ENZIM PENCERNAAN LIPASE KERANG DARAH (*Anadara granosa*)**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Bidang
Ilmu Kelautan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*



Oleh

ANJANI RAHAYU

08051382126113

**JURUSAN ILMU KELAUTAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
INDRALAYA**

2025

**EFEK MIKROPLASTIK PP DAN LOGAM BERAT CD TUNGGAL DAN
KOMBINASI KEDUANYA PADA ENZIM PENCERNAAN LIPASE
KERANG DARAH (*Anadara granosa*)**

SKRIPSI

Oleh :

ANJANI RAHAYU

08051382126113

***Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Bidang
Ilmu Kelautan pada Fakultas MIPA***

**JURUSAN ILMU KELAUTAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
INDRALAYA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

EFEK MIKROPLASTIK PP DAN LOGAM BERAT CD TUNGGAL DAN KOMBINASI KEDUANYA PADA ENZIM PENCERNAAN LIPASE KERANG DARAH (*Anadara granosa*)

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana
di Bidang Ilmu Kelautan pada Fakultas MIPA*

Oleh :
Anjani Rahayu
08051382126113

Indralaya, Agustus 2025
Pembimbing I

Pembimbing II



Ellis Nurjuliasti Ningsih, M.Si
NIP. 19860710020220032001



Beta Susanto Barus, S.Pi., M.Si., Ph.D
NIP. 1988022222015041002

Mengetahui
Kepala Jurusan Ilmu Kelautan



Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc
NIP. 197905212008011009

Tanggal Pengesahan:

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Anjani Rahayu
NIM : 08051382126113
Program Studi : Ilmu Kelautan
Judul Skripsi : Efek Mikroplastik Polipropilen (PP) dan Logam Berat Kadmium (Cd) Tunggal Dan Kombinasi Keduanya Pada Enzim Pencernaan Lipase Kerang Darah (*Anadara Granosa*)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya

DEWAN PENGUJI

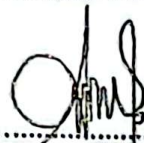
Ketua : Beta Susanto Barus, S.Pi., M.Si., Ph.D
NIP. 1988022222015041002

()

Anggota : Ellis Nurjuliasti Ningsih, M. Si
NIP. 19860710020220032001

()

Anggota : Dr. Anna Ida Sunaryo Purwiyanto, S.Kel., M.Si
NIP.198303122006042001

()

Anggota : Dr. Wike Ayu Eka Putri, S.Pi., M.Si
NIP. 197905122008012017

()

Ditetapkan di : Indralaya

Tanggal :

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Dengan ini saya Anjani Rahayu, 08051382126113 menyatakan bahwa Karya Ilmiah/Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan Karya Ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata atau (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun Perguruan Tinggi lainnya.

Semua informasi yang dimuat dalam karya Ilmiah/Skripsi ini yang berasal dari penulis lain, baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar dan semua Karya Ilmiah/Skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.



Inderalaya,

Agustus 2025

Anjani Rahayu

NIM.08051382126113

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anjani Rahayu
NIM : 08051382126113
Program Studi : Ilmu Kelautan
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Efek Mikroplastik Polipropilen (PP) dan Logam Berat Kadmium (Cd) Tunggal Dan Kombinasi Keduanya Pada Enzim Pencernaan Lipase Kerang Darah (*Anadara Granosa*)”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih media /formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi saya. Skripsi ini dibiayai dan didukung dari penelitian skema unggulan kompetitif a.n Beta Susanto Barus, S.Pi., M.Si.,Ph.D tahun 2024. Segala sesuatu terkait penggunaan data dan publikasi skripsi ini, harus seizin Beta Susanto Barus,S.Pi.,M.Si.,Ph.D Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Inderalaya, Agustus 2025



Anjani Rahayu
NIM.08051382126113

ABSTRAK

Anjani Rahayu. 08051382126113. Efek Mikroplastik Polipropilen (PP) dan Logam Berat Kadmium (Cd) Tunggal Dan Kombinasi Keduanya Pada Enzim Pencernaan Lipase Kerang Darah (*Anadara Granosa*). (Pembimbing : Beta Susanto Barus, S.Pl., M.Si., Ph.D dan Ellis Nurjulasi Ningsih, M. Si)

Mikroplastik dan logam berat merupakan pencemar perairan yang berpotensi mengganggu fungsi fisiologis organisme laut, termasuk kerang darah (*Anadara granosa*) sebagai *filter feeder*. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh paparan mikroplastik polipropilena (PP), logam berat kadmium (Cd), serta kombinasinya terhadap aktivitas enzim pencernaan lipase. Eksperimen dilakukan selama tujuh hari dengan empat kelompok perlakuan: kontrol, PP tunggal, Cd tunggal, dan kombinasi PP+Cd. Aktivitas lipase diukur secara periodik dengan metode spektrofotometri pada panjang gelombang 715 nm, dan dianalisis menggunakan ANOVA serta uji lanjut Tukey. Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan PP maupun Cd secara tunggal cenderung menurunkan aktivitas enzim lipase dibandingkan kontrol, meskipun terjadi fluktuasi adaptif pada hari ke-5. Sebaliknya, kombinasi PP+Cd menyebabkan peningkatan signifikan aktivitas lipase pada hari ke-7, yang mengindikasikan adanya efek sinergistik dan potensi stres oksidatif lebih tinggi. Uji statistik mengonfirmasi perbedaan ($p < 0,05$) pada perlakuan kombinasi dibanding perlakuan tunggal. Kesimpulannya, kombinasi paparan mikroplastik dan logam berat dapat memperparah gangguan enzimatis pada sistem pencernaan (*Anadara granosa*), sehingga berimplikasi terhadap kesehatan biota laut dan keseimbangan ekosistem.

Kata Kunci : *Anadara granosa*, enzim lipase, mikroplastik, logam berat.

Pembimbing II



Ellis Nurjulasi Ningsih, M.Si
NIP. 19860710020220032001

Inderalaya, Agustus 2025
Pembimbing I



Beta Susanto Barus, S.Pi., M.Si., Ph.D
NIP. 1988022222015041002


Mengetahui
Ketua Jurusan Ilmu Kelautan

Prof. Dr. Rozirwan, S. Pi., M. Sc
NIP. 197905212008011009

ABSTRACT

Anjani Rahayu. 08051382126113. *Effects of Polypropylene (PP) Microplastics and Cadmium (Cd) Heavy Metal, Both Individually and in Combination, on the Digestive Enzyme Lipase In Blood Clams (Anadara Granosa)..* (Supervisor : Beta Susanto Barus, S.Pi., M.Si., Ph.D and Ellis Nurjullasti Ningsih, M. Si)

Microplastics and heavy metals are aquatic pollutants that have the potential to disrupt the physiological functions of marine organisms, including blood clams (*Anadara granosa*) as filter feeders. This study aims to analyze the effect of exposure to polypropylene (PP) microplastics, cadmium (Cd) heavy metals, and their combination on lipase digestive enzyme activity. The experiment was conducted over seven days with four treatment groups: control, PP alone, Cd alone, and the combination of PP+Cd. Lipase activity was measured periodically using spectrophotometry at a wavelength of 715 nm and analyzed using ANOVA and Tukey's post-hoc test. The results showed that exposure to PP or Cd alone tended to decrease lipase enzyme activity compared to the control, although adaptive fluctuations occurred on day 5. Conversely, the PP+Cd combination caused a significant increase in lipase activity on day 7, indicating a synergistic effect and higher potential for oxidative stress. Statistical tests confirmed a significant difference ($p < 0.05$) in the combination treatment compared to the single treatments. Conclusion: The combination of microplastic and heavy metal exposure can exacerbate enzymatic disturbances in the digestive system (*Anadara granosa*). In conclusion, combined exposure to microplastics and heavy metals can exacerbate enzymatic disorders in the digestive system (*Anadara granosa*), thereby impacting marine biota health and ecosystem balance.

Keywords : *Anadara granosa*, lipase enzyme, microplastics, heavy metals.

Supervisor II



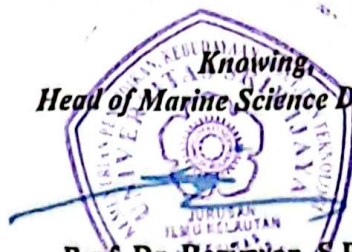
Ellis Nurjuliasti Ningsih, M.Si
NIP. 19860710020220032001

Inderalaya, August 2025
Supervisor I



Beta Susanto Barus, S.Pi., M.Si., Ph.D
NIP. 1988022222015041002

Knowing,
Head of Marine Science Department



Prof. Dr. Rozirwan, S.Pi., M.Sc
NIP. 197905212008011009

RINGKASAN

Anjani Rahayu. 08051382126113. Efek Mikroplastik Polipropilen (PP) dan Logam Berat Kadmium (Cd) Tunggal Dan Kombinasi Keduanya Pada Enzim Pencernaan Lipase Kerang Darah (*Anadara Granosa*). (Pembimbing : Beta Susanto Barus, S.Pi., M.Si., Ph.D dan Ellis Nurjuliasi Ningsih, M. Si

Mikroplastik adalah partikel plastik berukuran kurang dari 5 mm yang bersifat persisten di lingkungan dan mampu membawa polutan lain seperti logam berat. Logam berat seperti kadmium (Cd) merupakan unsur toksik yang dapat terakumulasi dalam tubuh organisme dan mengganggu berbagai proses metabolik, termasuk fungsi enzimatis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh paparan mikroplastik (polipropilena/PP), logam berat (Cd), serta kombinasi keduanya terhadap aktivitas enzim lipase pada kerang darah (*Anadara granosa*).

Kerang darah dipilih karena sifatnya sebagai *filter feeder* yang rentan terhadap pencemaran sedimen laut. Eksperimen dilakukan selama 7 hari dengan empat kelompok perlakuan: kontrol, mikroplastik (PP), logam berat (Cd), dan kombinasi (PP+Cd). Aktivitas enzim lipase diukur secara periodik menggunakan metode spektrofotometri.

Penelitian ini dilaksanakan 2024, pengambilan sampel kerang darah (*Anadara granosa*) bulan september dari nelayan di perairan Banyuasin. Eksperimen dan preparasi sampel kerang darah dilakukan di Laboratorium Oseanografi dan Instrumentasi, Ilmu Kelautan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

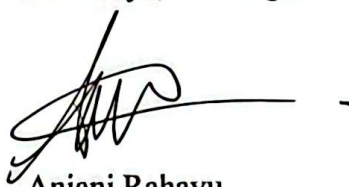
Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan mikroplastik dan logam berat tunggal menyebabkan fluktuasi ringan dan penurunan aktivitas enzim lipase pada hari-hari awal, namun menunjukkan kecenderungan adaptasi fisiologis pada hari ke-5. Perlakuan kombinasi (PP+Cd) menunjukkan peningkatan signifikan aktivitas enzim lipase, terutama pada hari ke-7. Efek paparan polutan terhadap enzim lipase terlihat dari perubahan aktivitas enzim yang berfungsi dalam metabolisme lipid. Mikroplastik dapat menimbulkan rasa kenyang semu, mengganggu fungsi pencernaan dan menghambat produksi enzim, sementara logam berat seperti Cd berikatan dengan gugus sulfhidril (-SH) enzim, menyebabkan gangguan struktur dan fungsi protein enzimatis. Kombinasi keduanya menghasilkan stres oksidatif yang lebih besar, memicu kompensasi metabolik berupa peningkatan aktivitas lipase sebagai respons terhadap gangguan homeostasis.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepala Allah SWT sang Maha Segalanya, atas seluruh curahan rahmat dan hidayahNya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Efek Mikroplastik Polipropilen (PP) dan Logam Berat Kadmium (Cd) Tunggal Dan Kombinasi Keduanya Pada Enzim Pencernaan Lipase Kerang Darah (*Anadara Granosa*).” ini tepat pada waktunya. Skripsi ini ditulis dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Ilmu Kelautan pada Program Studi Ilmu Kelautan Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini terutama pada Bapak Beta Susanto Barus, S.Pi., M.Si., Ph.D dosen pembimbing I saya dan Ibu Ellis Nurjuliasti Ningsih, M.Si dosen pembimbing II. Penulis menyadari banyak kesalahan dan kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan dan perbaikannya sehingga skripsi ini dapat memberikan manfaat dibidang pendidikan.

Inderalaya, Agustus 2025



Anjani Rahayu
NIM.08051382126113

LEMBAR PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur *Alhamdulillah Rabbil 'Alamiin*, akhirnya perjuangan panjang yang telah saya lalui untuk meraih gelar sarjana ini dapat diselesaikan dengan baik. Rasa syukur dan kebahagiaan yang saya rasakan ini saya persembahkan kepada orang-orang terkasih yang memiliki arti penting dalam hidup saya.

1. Segala puji bagi Allah Subhanahu wa Ta'ala, Yang Maha Mengetahui lagi Maha Kuasa. Hanya dengan pertolongan dan bimbingan-Nya, saya mampu menyelesaikan setiap tahapan penulisan skripsi ini, dari awal hingga akhir. Meskipun penuh kelelahan dan berbagai tantangan, Allah senantiasa memberikan saya jalan, kekuatan, dan ketenangan yang saya butuhkan untuk melangkah maju. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, saya persembahkan karya ini sebagai ungkapan rasa syukur saya kepada Allah SWT, yang senantiasa melimpahkan rahmat dan bimbingan-Nya di setiap tahapan perjalanan ini.
2. Saya persembahkan skripsi ini sepenuh hati untuk dua sosok luar biasa dalam hidup saya: **Bapak Amri dan Ibu Ningya**. Tanpa kehadiran dan peran kalian, mungkin saya tidak akan mampu melewati seluruh proses hingga akhirnya mencapai titik ini. Terima kasih atas setiap pengorbanan, nasihat, dan doa tulus yang tak henti-hentinya kalian panjatkan untuk saya. Segala dukungan dan kasih sayang kalian telah menjadi sumber kekuatan terbesar dalam perjalanan ini. Saya akan selalu bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas anugerah yang telah Dia berikan kepada kalian dalam hidup saya sebagai orang tua.
3. Dengan penuh kasih, untuk saudara-saudara saya tercinta, **Desta Anjelina dan Zahawa**. Terima kasih atas segala dukungan, doa, dan semangat yang telah kalian berikan selama perjalanan ini. Kehadiran kalian mengingatkan saya bahwa perjuangan ini bukan hanya tentang saya, tetapi juga tentang masa depan kita bersama. Semoga kita bertiga terus maju dan melanjutkan perjuangan keluarga kita dengan keyakinan, harapan, dan kekuatan.
4. **Bapak Beta Susanto Barus, S.Pi., M.Si., Ph.D** selaku pembimbing I dan **Ibu Ellis Nurjuliasi Ningsih, M. Si** selaku pembimbing II terima kasih

telah membimbing dengan penuh kesabaran, memberikan arahan ilmu, motivasi, serta masukan berharga yang diberikan tidak hanya membantu penyelesaian penelitian ini, tetapi juga menjadi pengalaman akademik yang bermakna. Nasihat, perhatian, dan keteladanan yang ditunjukkan selama proses bimbingan menjadi sumber inspirasi serta dorongan kuat bagi penulis untuk belajar, berusaha, dan menyelesaikan karya ilmiah ini dengan sebaik-baiknya.

5. **Seluruh dosen dan staf di Jurusan Ilmu Kelautan**, Terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya penulis sampaikan atas ilmu pengetahuan, bimbingan, serta pengalaman berharga yang telah diberikan, yang tidak hanya memperluas wawasan tetapi juga menjadi bekal penting sepanjang perjalanan akademik penulis di bangku perkuliahan.
6. **Mapala SABAK**, yang telah menjadi rumah kedua bagi penulis, tempat belajar dan ditempa melalui berbagai pengalaman berharga. Dari organisasi ini, penulis memperoleh banyak pelajaran tentang arti kesabaran, keikhlasan, kerja sama tim, serta nilai kebersamaan yang mendalam. Ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan atas segala nasihat, bimbingan, dan wejangan yang senantiasa menjadi bekal berharga dalam perjalanan akademik maupun kehidupan. Penghargaan ini penulis sampaikan kepada para pendiri hingga angkatan Ancala Wanara, ALS, Cawan, Tombak serta kepada angkatan Satira, Aksara, dan Bhara. Semoga tetap semangat dalam membawa nama baik Mapala SABAK setinggi langit.
7. **Anak Baik** : Fio, Cheli, Lisa, dan Fitri, terima kasih telah menjadi teman terbaik yang selalu memberikan banyak pelajaran berharga. Kebersamaan dengan kalian membuat setiap pertemuan penuh tawa dan mampu menghilangkan beban yang penulis rasakan.
8. **Sisterhood**: Anggi, Viona, Jupek, Indah, Reda, dan Wita, terima kasih atas kebersamaan serta canda tawa yang telah diberikan. Semoga persahabatan ini tetap terjalin erat dan tidak akan terputus sampai kapan pun.
9. **Kedua Sahabatku, Sherlyta Andira Kusuma** terima kasih telah menjadi partner dalam banyak hal, mulai dari maba, masuk organisasi, hingga kerja

praktik, selalu setia mendampingi penulis meskipun sering terjadi perbedaan pendapat, **Fitri Yeni** terima kasih yang tidak pernah berhenti memberikan nasihat berharga kepada penulis.

10. Rini Wahyuni, terima kasih telah menemani penulis selama perkuliahan, mulai dari tinggal bersama di kos, menghadapi kebuntuan bersama, hingga melewati masa-masa galau bersama.

11. Tim Skripsi, Risma Amelia dan M. Redho Anugrah terima kasih telah menjadi sahabat perjuangan dalam setiap tahap penelitian. Meski eksperimen sering mengalami kegagalan, kita tidak pernah menyerah dan selalu berusaha untuk mencoba kembali dari pengalaman tersebut, kita belajar tentang arti kebersamaan, kesabaran, serta semangat untuk terus berusaha.

12. Persembahan ini saya tujukan untuk diri saya sendiri, yang dengan penuh kesabaran telah berusaha melewati berbagai rintangan dan tidak menyerah meskipun kelelahan sering datang menghampiri. Terima kasih karena telah bertahan dalam setiap proses, belajar dari setiap kesalahan, serta terus melangkah dengan keyakinan hingga sampai pada tahap ini. Perjalanan ini menjadi bukti bahwa perjuangan, keteguhan hati, dan doa tidak pernah sia-sia.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	v
PERNYATAAN PUBLIKASI SKRIPSI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
KATA PENGANTAR.....	x
LEMBAR PERSEMBAHAN	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Mikroplastik	5
2.2 Logam Berat	7
2.3 Kerang Darah (<i>Andara granosa</i>).....	9
2.3.1 Morfologi Kerang Darah (<i>Anadara granosa</i>).....	9
2.4 Enzim Lipase	10
III METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1 Waktu dan Tempat	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.2.1 Alat Penelitian.....	12
3.2.2 Bahan Penelitian	13
3.3 Metode Penelitian.....	13
3.3.1 Persiapan dan Aklimasi Kerang Darah (<i>Anadara Granosa</i>)	13
3.3.2 Desain Eksperimen Paparan Mikroplastik dan Logam Berat.....	14
3.3.3 Penentuan Aktivitas Enzim Pencernaan Lipase.....	15
3.3.5 Analisis data.....	15
IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
4.1 Aktivitas Enzim Lipase	17
4.2 Aktivitas Enzim Lipase Kerang Darah 1 Hari Perlakuan.....	18
4.3 Aktivitas Enzim Lipase Kerang Darah 3 Hari Perlakuan.....	19
4.4 Aktivitas Enzim Lipase Kerang Darah 5 Hari Perlakuan.....	21
4.5 Aktivitas Enzim Lipase Kerang Darah 7 Hari Perlakuan.....	23
4.6 Fluktuasi Aktivitas Enzim Lipase B pada Kerang Darah.....	25
V KESIMPULAN DAN SARAN	28
5.1 Kesimpulan.....	28
5.2 Saran.....	28
DAFTAR PUSTAKA	29
LAMPIRAN.....	36

RIWAYAT HIDUP	41
----------------------------	-----------

DAFTAR TABEL

1. Alat Penelitian.....	12
2. Bahan Penelitian.....	13
3. Aktivitas Enzim Lipae (mg/mL/menit).....	18

DAFTAR GAMBAR

1. Kerangka Berpikir Penelitian.....	3
2. Lokasi Pengambilan Sampel	12
3. Tiga Perlakuan Digunakan untuk Mengetahui Respon Enzim Pencernaan Mikroplastik (PP) dan Kombinasi Logam Berat (Cd).....	14
4. Aktivitas Enzim Lipase Kerang Darah pada Hari ke-1 Perlakuan.....	19
5. Aktivitas Enzim Lipase Kerang Darah pada Hari ke-3 Perlakuan.....	20
6. Aktivitas Enzim Lipase Kerang Darah pada Hari ke-5 Perlakuan.....	22
7. Aktivitas Enzim Lipase Kerang Darah pada Hari ke-7 Perlakuan.....	24
8. Aktivitas Enzim Lipase yang Berfluktuasi Selama Waktu Pengamatan, dengan Perbedaan Signifikan antar Perlakuan ($p < 0,05$) ditandai oleh Huruf a, b, dan c.	25

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mikroplastik merupakan partikel plastik yang diameternya sangat kecil, berukuran kurang dari 5 mm. Mikroplastik sangat berbahaya sehingga bisa mengancam lingkungan dan kesehatan (Victoria, 2017). Kebiasaan sehari-hari masyarakat dalam menggunakan sampah plastik telah menjadikan sampah plastik sebagai penyumbang utama pencemaran perairan (Dwiyonto *et al.* 2018). Salah satu tipe plastik yang sering di temukan di lingkungan khususnya lingkungan perairan adalah polipropilen (PP) (Radityaningrum *et al.* 2020)

Pencemaran mikroplastik sangat mengganggu ekosistem perairan dan membahayakan makhluk hidup di dalamnya dan kesehatan manusia. Mikroplastik yang tertelan oleh biota dapat menyebabkan kerusakan organ dalam dan mengganggu proses biologis penting (Dewi dan Hartini, 2021). Sebagai *filter feeder* kerang secara tidak sengaja menelan mikroplastik yang mengendap di dasar laut, sehingga berpotensi terpapar zat-zat berbahaya yang terikat pada plastik tersebut (Ramadhani dan Permatasari, 2022)

Ketika mikroplastik masuk ke dalam tubuh biota, maka partikel ini dapat mengganggu kerja organ-organ pencernaan. Akibatnya biota tidak bisa menyerap nutrisi makanan secara optimal, sehingga tubuh mereka akan kekurangan zat-zat yang di butuhkan (Anggiani dan Ambarsari, 2022). Menurut Tuhumury dan Ritonga, (2020) mikroplastik dapat mengganggu pertumbuhan, produksi enzim, dan hormon makhluk hidup, serta merusak sistem reproduksi. Ada kemungkinan besar bahwa mikroplastik akan menghambat kerja enzim pencernaan karena mikroplastik memiliki kemampuan untuk bertahan dalam sistem pencernaan invertebrata dalam waktu yang lama (Barus *et al.* 2023)

Logam berat di bedakan menjadi dua jenis yaitu logam berat esensial seperti Zn, Cu, Fe, Co, Mn, dll. Jenis logam tersebut merupakan unsur penting yang di butuhkan oleh makhluk hidup untuk menjalankan berbagai fungsi tubuh. Namun, jika kadar logam-logam tersebut melebihi batas normal, maka dapat menimbulkan efek samping yang merugikan kesehatan (Said dan Yudo, 2021). Logam berat nonesensial seperti As, Hg, Cd, Pb, Cr, dll, merupakan jenis logam berat yang

berbahaya bagi kesehatan. Logam ini tidak dibutuhkan oleh tubuh dan malah bisa menyebabkan keracunan (Fekri *et al.* 2023).

Sumber logam berat dapat berasal dari alam maupun aktivitas manusia (Nurkhamim *et al.* 2022). Limbah yang mengandung logam berat merupakan pencemar yang dapat merusak tatanan lingkungan hidup. Pencemaran logam berat pada ekosistem perairan terjadi secara intensif akibat pelepasan logam berat dari limbah domestik, industri, dan aktivitas manusia lainnya (Budiastuti *et al.* 2016).

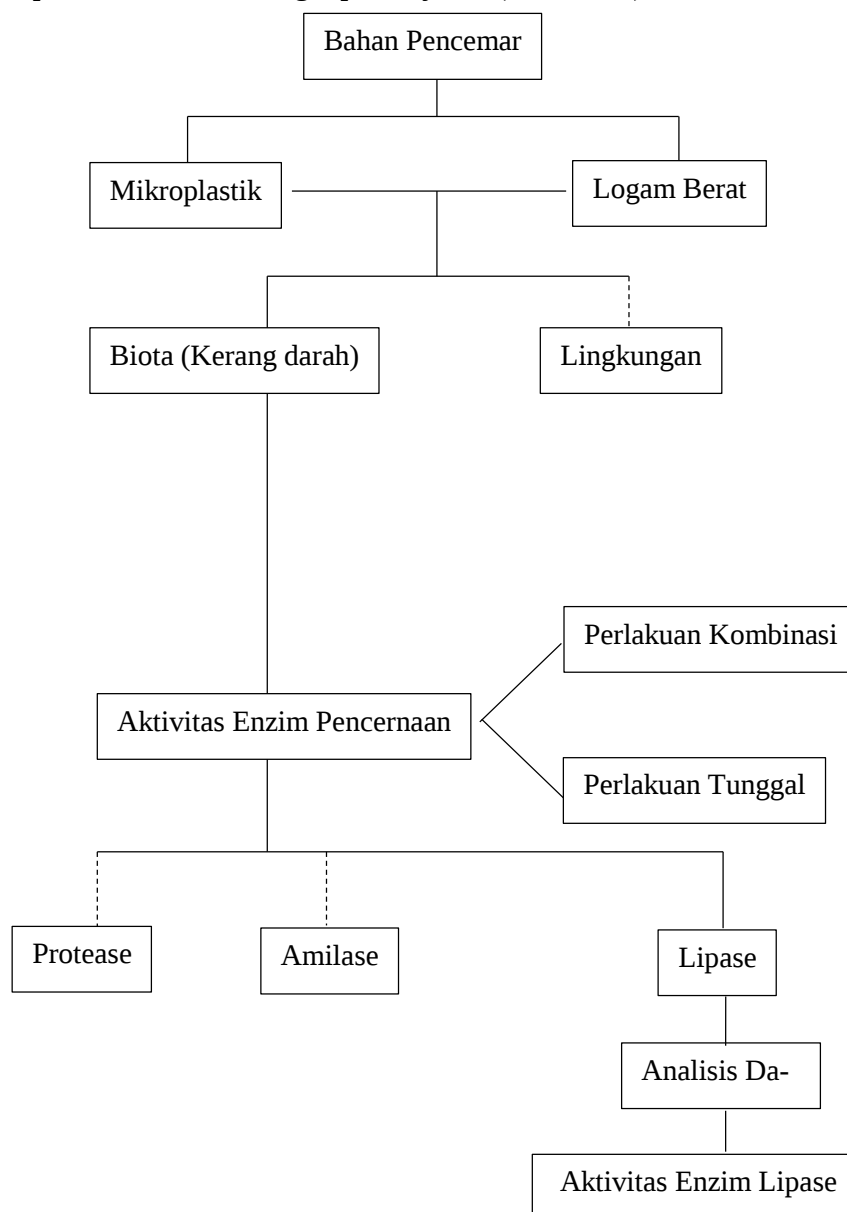
Salah satu cara logam berat masuk ke dalam tubuh biota adalah melalui insang. Insang berfungsi sebagai organ pernapasan biota, menyerap logam berat dari air yang masuk ke dalam tubuh. Jalur pencernaan juga menjadi pintu masuk bagi logam berat ke dalam tubuh biota (Soegianto, 2023). Kontaminasi logam berat dapat menghambat aktivitas enzim, akibatnya, proses metabolisme tidak lancar (Amanda, 2024). Kerang memiliki potensi besar terkontaminasi logam berat dikarenakan hidup di area sedimen, oleh karena itu penting untuk selalu memperhatikan kualitas air dan sedimen di habitat kerang (Kuntjoro dan Wardana, 2023). Konsentrasi logam berat yang tinggi dapat menyebabkan kematian massal pada biota akuatik. Paparan logam berat dalam dosis rendah pun dapat mematikan organisme (Saranga *et al.* 2019).

Kerang darah (*Anandara granosa*) memiliki sifat menetap di dasar laut dan kemampuan menyaring air, membuatnya rentan terhadap bioakumulasi dan biokonsentrasi polutan. Akibatnya, kerang darah ini dapat terkontaminasi berbagai jenis pencemar yang ada di lingkungan perairan (Tuhumury dan Agustina, 2020). Kerang juga akan terakumulasi logam berat dalam tubuhnya dan tetap bertahan hidup meskipun kandungannya lebih berat dari tubuhnya.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa paparan mikroplastik tunggal maupun dikombinasikan dengan logam berat, dapat memengaruhi aktivitas enzim lipase pada kerang *Paphia undulata* (Barus *et al.* 2023). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak mikroplastik tunggal dan kombinasi logam berat kadmium (Cd) terhadap aktivitas enzim lipase pada kerang darah (*Anandara granosa*). Fokus penelitian ini adalah pada enzim pencernaan kerang darah yang di dasarkan karena enzim ini merupakan enzim yang sangat penting bagi pencemaran biota yaitu untuk mencemari lemak di dalam tubuh biota.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini penting untuk memahami dampak pencemaran lingkungan terhadap kerang darah (*Anadara Granosa*). Adanya penelitian ini ingin melihat antar mikroplastik (PP) dan logam berat (Cd) akan menyebabkan kerusakan yang lebih parah pada enzim lipase. Jika enzim lipase pada kerang terganggu, maka kualitas kesehatan nutrisi pada kerang juga bisa terganggu. Kerang merupakan bagian penting bagi rantai makanan di laut. Jika populasi kerang terganggu, maka keseimbangan ekosistem laut juga bisa terancam (Cranford *et al.* 2003). Kerangka berpikir penelitian secara lengkap di sajikan (Gambar 1).



Gambar 1. Kerangka Berpikir Penelitian

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis efek mikroplastik (PP) tunggal terhadap enzim lipase pada kerang darah (*Anadara granosa*).
2. Menganalisis efek logam berat (Cd) tunggal terhadap enzim lipase pada kerang darah (*Anadara granosa*).
3. Menganalisis efek mikroplastik (PP) kombinasi logam berat (Cd) terhadap enzim lipase pada kerang darah (*Anadara granosa*).

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa informasi tentang efek mikroplastik (PP), logam berat (Cd) tunggal dan kombinasi dengan logam berat timbal (Cd) pada kerang darah (*Anadara granosa*). Informasi ini dapat dijadikan sebagai acuan mitigasi dampak polutan terhususnya mikroplastik dan logam berat di lingkungan serta dapat di jadikan dasar bagi penelitian-penelitian dimasa akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

- Addauwiyah R, Ageng P, Risky A, Leonardo R, Suryati I, Harpah N. 2020. Analisa Jenis, Bentuk dan Kelimpahan Mikroplastik di Sungai Sei Kembang Medan. *Jurnal Sains dan Teknologi* Vol.20(2) : 2615-26827
- Agustini R dan Sholeha R. 2021. Lipase Biji-Biji dan Karakteristiknya. *Unesa Journal of Chemistry* Vol.10(2)
- Almeida, E. A., Miyamoto, S., Bainy, A. C. D., de Medeiros, M. H. G., & Di Mascio, P. (2004). Protective effect of phospholipid hydroperoxide glutathione peroxidase (PHGPx) against lipid peroxidation in mussels *Perna perna* exposed to different metals. *Marine Pollution Bulletin*, 49(5-6), 386-392.
- Ambarsari, D. A., & Anggiani, M. (2022). Kajian Kelimpahan Mikroplastik Pada Sedimen Di Wilayah Indonesia. *Oseana*, 47(1), 20-28.
- Astuti R A, Kurniawan A V, Ummah K A. 2023. Cemaran Kadmium pada Produk Olahan Kerang Darah (*Anadara granosa*) yang dijual Pedagang Kaki Lima. *Buletin Kesehatan Lingkungan Masyarakat* Vol.42(2)
- Banaee, M., Soltanian, S., Sureda, A., Gholamhosseini, A., Haghi, B. N., Akhlaghi, M., & Derikvandy, A. (2019). Evaluation of single and combined effects of cadmium and micro-plastic particles on biochemical and immunological parameters of common carp (*Cyprinus carpio*). *Chemosphere*, 236, 124335.
- Barus, B. S., Purwiyanto, A. I. S., Suteja, Y., & Dwinanti, S. H. (2023). The effect of single and combined microplastics with heavy metals Cu and Pb on digestive enzymes in *Paphia undulata*.
- Barus, B. S., Zhu, Z., Cheuch, C. Y., Chen, K., Wang, J., Cai, M., ... & Wei, H. (2023). Polystyrene as a vector of heavy metals in hard clam *Meretrix lusoria* under various salinities. *Frontiers in Marine Science*, 9, 1014103.
- Budiastuti, P., Raharjo, M., dan Dewanti, I.A.Y., 2016, Analisis Pencemaran Logam Berat Timbal di Badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang, *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 4(5):119-125.
- Cao, X., Wang, Y., He, J., Luo, X., & Zheng, Z. (2016). Phosphorus mobility among sediments, water and cyanobacteria enhanced by cyanobacteria blooms in eutrophic Lake Dianchi. *Environmental Pollution*, 219, 580-587.
- Chen, C., Wang, X., Jin, Y., Yao, Y., Li, S., Liao, Z., ... & Yan, X. (2025). Simultaneous Exposure To Microplastics And Heavy Metal Lead Induces Oxidative Stress, Histopathological Damage, And Immune Dysfunction In Marine Mussel *Mytilus Coruscus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 289, 117493.
- Chen, Q., Lv, W., Jiao, Y., Liu, Z., Li, Y., Cai, M., ... & Zhao, Y. (2020). Effects of exposure to waterborne polystyrene microspheres on lipid metabolism

- in the hepatopancreas of juvenile redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*. *Aquatic Toxicology*, 224, 105497.
- Cheng, C., Ma, H., Liu, G., Fan, S., & Guo, Z. (2022). Mechanism of cadmium exposure induced hepatotoxicity in the mud crab (*Scylla paramamosain*): activation of oxidative stress and Nrf2 signaling pathway. *Antioxidants*, 11(5), 978.
- Cranford, P., Dowd, M., Grant, J., Hargrave, B., & McGladdery, S. (2003). Ecosystem level effects of marine bivalve aquaculture. *A scientific review of the potential environmental effects of aquaculture in aquatic ecosystems*, 1, 51-95.
- Dai, W., Du, H., Fu, L., Jin, C., Xu, Z., & Liu, H. (2009). Effects of dietary Pb on accumulation, histopathology, and digestive enzyme activities in the digestive system of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Biological trace element research*, 127, 124-131.
- Dali, S., Patong, R., Djalaluddin, M. N., & AP, P. (2010). Optimasi Produksi Enzim Lipase Dari Isolat *Aspergillus oryzae*. *Jurnal Akta Kimia Indonesia* (Indonesia Chimica Acta), 1-7.
- Dewi SBNMN. 2022. Studi Litterratur Dampak Mikroplastik Terhadap Lingkungan. *Jurnal Sains dan Teknologi* Vol. 2(2) : 299-250
- Digestion, Energy Metabolism, Oxidative Stress Regulation, Immune Function, and Metabolomes in the Pearl Oyster (*Pinctada fucata martensii*). *Fishes* (MDPI AG), 10(3)
- Djarkasi, G. S., Raharjo, S., & Noor, Z. (2017). Isolasi dan akitivitas spesifik enzim lipase indigenou biji kenari. *Jurnal Teknologi Pertanian* (*Agricultural Technology Journal*), 8(1).
- Fasiroh A, Mulyono AR, Hafidah TM, Sarasi W, Arviani A. 2024. Akumulasi Logam Berat pada Sedimen Matriks di Perairan Pekalongan. *Jurnal Maiyah* Vol.3(1) : 22-24
- Fekri L, Effendy JI, Ishak E, Kasman, Mahmudah, Ishak IN. 2023. Analisis Kandungan Logam Berat pada Air Sungai Martapura, Provinsi Kalimantan Selatan Tahun 2022. *Journal of Fishery Science and Innovation* Vol.7(1) : 35-41
- Gao, Z., Sun, Z., & Wang, D. (2022). Effects of Different Polystyrene Concentrations on the Bioaccumulation of As, Cd, and Pb in *Ruditapes philippinarum*.
- Hartini, A. S. A., & Dewi, R. S. (2021). Identifikasi Kandungan Mikroplastik pada Ikan dan Air Hilir Sungai Brantas. *Environmental Pollution Journal*, 1(2).
- have synergistic effects on mitigating CH₄ emissions in rice field: A three-year study. *Science of The Total Environment*, 743, 140500.

- He, T., Yuan, J., Luo, J., Lindsey, S., Xiang, J., Lin, Y., ... & Ding, W. (2020). Combined application of biochar with urease and nitrification inhibitors
- Heo, Y., Cho, W. S., Maruthupandy, M., Kim, S. K., & Park, J. W. (2022). Biokinetics of fluorophore-conjugated polystyrene microplastics in marine mussels. *Journal of Hazardous Materials*, 438, 129471.
- Herawati, S. (2022). Analisis Kandungan Logam Berat (Pb, Cd, Cu) Pada Kerang Hijau Yang Beredar Di Pasar Pesisir Kota Bandar Lampung (*Doctoral dissertation, Uin Raden Intan Lampung*).
- Huang, J-N., Wen, B., Zhu, J-G., Zhang, Y-S., Gao, J-Z., & Chen, Z-Z. (2020). Exposure to microplastics impairs digestive performance, stimulates immune response and induces microbiota dysbiosis in the gut of juvenile guppy (*Poecilia reticulata*). *Journal Science of the Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138929
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary toxicology*, 7(2), 60.
- Jati EO, Purnomo W, Laila NQ. 2019. Kelimpahan mikroplastik pada Sedimen di Desa Manguhrajo, Kecamatan Tugu, Kota Semarang. *Jurnal Pesisir Laut* Vol.4(1) : 28-35
- Jing, G., Li, Y., Xie, L., & Zhang, R. (2007). Different effects of Pb²⁺ and Cu²⁺ on immune and antioxidant enzyme activities in the mantle of *Pinctada fucata*. *Environmental toxicology and pharmacology*, 24(2), 122-128.
- Junior Z.M, Rusmana I, Meryandini A, Faturrahman. 2020. Pengaruh Bakteri Probiotik Bagi Fungsi Pisiologis Sistem Pencernaan Abalon Tropis. Lppm Unram Press : Mataram NTB
- Kuntjoro S dan Wardana TM. 2023. Analisis Kadar Logam Berat (Pb) di Perairan Pelabuhan Teluk Lamongan dan Korelasinya terhadap Kadar Pb Kerang Darah (*Tegillarca granosa*). *LenteraBio:Berkala Ilmiah Biologi* Vol.12(1) : 41-49
- Layn A, Emiyarti A, Ira. 2020. Distribusi Mikroplastik pada Sedimen di Perairan Mangunharjo, Kecamatan Tugu, Kota Semarang. *Jurnal Pasir Laut* Vol.5(2) : 115-122
- Li, M., Ma, W., Fang, J. K. H., Mo, J., Li, L., Pan, M., ... & Lai, K. P. (2025). A review on the combined toxicological effects of microplastics and their attached pollutants. *Emerging Contaminants*, 100486.
- Luo, M., Ding, Y., Zeng, H., Zhong, Y., Zhang, H., Chen, Y., ... & Wei, W. (2025). Effects of chronic co-exposure polystyrene nanoplastics and cadmium on liver function in Prussian carp (*Carassius gibelio*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 302, 118687.

- Lusher, A. L., Mchugh, M., & Thompson, R. C. (2013). Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel. *Marine pollution bulletin*, 67(1-2), 94-99.
- Madi W, Mumpuni SF, Dody S. 2018. Hubungan Panjang-Berat, Nisbah Kelamin dan Indeks Kematangan Gonad Kerang Darah (*Anandara granosa* LINN.1758) di Perairan Muara Gembong-Bekasi. *Jurnal Mina Sinas* Vol.4(2)
- Mardiyana A dan Kristiningsih. 2020. Dampak Pencemaran Mikroplastik di Ekosistem Laut terhadap Zooplankton. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan* Vol.2(1) : 29-36
- Murtadho, M. F. I. (2023). Identifikasi tipe dan kelimpahan mikroplastik pada perairan di Waduk Gondang Kecamatan Sugio Kabupaten Lamongan (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- Naqash, N., Prakash, S., Kapoor, D., & Singh, R. (2020). Interaction of freshwater microplastics with biota and heavy metals: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(6), 1813-1824.
- Naser HA. 2013. Assessment and management of heavy metal pollution in the marine environment of the Arabian Gulf: a review. *Marine pollution bulletin*, Vol. 72(1) : 6-13.
- Nurkhamin, Ernawati R, Suharjo HM.2022. Cekaman Logam Berat Cromium Terhadap Tanaman. *Jurnal Teknologi Mineral* Vol.10(1) : 8-16
- Parra, S., Santos, D., Luzio, A., Cabecinha, E., Saavedra, M. J., Gago, J., ... & Monteiro, S. M. (2024). Impacts of Microplastics, Cadmium, and Their Mixtures on Biochemical Biomarkers in the Freshwater Bivalve *Corbicula fluminea* (Bivalvia, Corbiculidae). *Diversity*, 16(12), 750.
- Paul-Pont, I., Lacroix, C., Fernández, C. G., Hégaret, H., Lambert, C., Le Goïc, N., ... & Soudant, P. (2016). Exposure of marine mussels *Mytilus* spp. to polystyrene microplastics: toxicity and influence on fluoranthene bioaccumulation. *Environmental pollution*, 216, 724-737.
- Pérez-Rama, M., Torres, V., & Abalde, J. (2012). Cadmium-induced oxidative stress and its effects on antioxidant enzyme activities in freshwater microalgae. *Chemosphere*, 89(7), 915–921.
- Pham, V. H. T., Kim, J., Chang, S., & Chung, W. (2021). Investigation of lipolytic-secreting bacteria from an artificially polluted soil using a modified culture method and optimization of their lipase production. *Microorganisms*, 9(12), 2590.
- Pikoli RM, Rahmah AF, Sari FA, Astuti P, Solihat AM. 2020. Memancing mikroba dari Sampah Isolasi Mikroorganisme Pendegradasi Mikroplastik dan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah

- Pratama, W. W., Nursyam, H., Hariati, A. M., & Hutagalung, R. A. (2020). Komposisi Proksimat Dan Aktivitas Enzim Protease Lipase Ikan Toman (*Channa Micropeltes*) Ukuran Yang Berbeda Asal Kalimantan Barat. *Manfish Journal*, 1(2), 83-89.
- Rachmawati, R.C., Imtinan, I., Santoso, L.P., Puput, P.S., Setyaningrum, S. and Asih, W.S., 2021, November. Identifikasi Kelimpahan Invertebrata di Pantai Marina Semarang, Kota Semarang, Jawa Tengah. In Seminar Nasional Sains & Entrepreneurship (Vol. 1, No. 1).
- Rijal SS dan Saifudin FRM. 2024. Perbandingan Mikroplastik pada Kedalaman 10 cm dan 20 cm Sediemn Kawasan Mangrove Gunung Anyar, Kota Surabaya. *Enviromental Pollution Journal* Vol.4(2) : 1013-1022
- Risjani Y DAN Cahya WE. 2023. Identifikasi Mikroplastik pada Sedimen di Outlet Pabrik Baur Ulang Plastik Kabupaten Gresik dan Sidoarjo. *Enviromental Pollution Journal* Vol.3(2) : 693-707
- Sahetapy MFJ dan Tuhumury CN. 2022. Analisi Bentuk dan Kelimpahan Mikroplastik pada Ikan Budidaya dan Air di Perairan Teluk Ambon. *Jurnal Grouper* Vol. 13(1) : 18-25
- Said NI dan Yudo S. 2021. Status kualitas air di Kolam Bekas Tambang Batubara di Tambang Satui, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan. *Jurnal teknologi lingkungan* Vol.22(1) : 048-057
- Saranga R, Ticoalu FJ, Ondang HP. 2019. Analisis Kandungan Logam Berat Ikan Pelagis Kecil R. *Kanagurta Decapterus sp* dan *Crumenophthalmus* yang Tertangkap di Perairan Sekitar Bitung. *Jurnal Bluefin Fisheries* Vol.1(2) : 41-48
- Sari P.D, Adipati S.A, Arita S. 2014. Pembuatan Katalis Heterogrn dari Cangkang Kerang Darah (*Anandara granosa*) dan Diaplikasikan pada dari Crude Plam Oil. *Jurnal Teknik Kimia* Vol.3(20)
- Sholeha, R., & Agustini, R. (2021). Lipase biji-bijian dan karakteristiknya. *Unesa Journal of Chemistry*, 10(2), 168-183.
- Soegianto A. 2023. Dampak Logam Berat terhadap Biologi Ikan. Pakalogan : PT Nasya Expanding Management
- Soegianto, A. (2023). Dampak Logam Berat terhadap Biologi Ikan. Penerbit NEM.
- Suhardi PRH.2024. Analisis Cmeran Mikroplastik pada Dading Insang Ikan Gabus (*Channa stariata*) di Sungai Kalimas, Surabaya. *Environmental Pollitions Jurnal* Vol.4(2) : 994-1003
- Trisnawati, A. (2008). Studi kandungan logam berat cadmium (Cd) pada kerang hijau (*Mytilus viridus*) di Perairan Kawasan Pantai Kenjeran Surabaya (*Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim*).

- Tuhumury, N., & Ritonga, A. 2020. Identifikasi keberadaan dan jenis mikroplastik pada kerang darah (*Anadara granosa*) di Perairan Tanjung Tiram, Teluk Ambon. *Triton: Jurnal Manajemen Sumberdaya Perairan*, 16(1), 1-7.
- Tuhumury, N., C., dan Agustina, R. 2020. Identifikasi keberadaan dan jenis mikroplastik pada kerang darah (*Anadara granosa*) di perairan Tanjung Tiram, Teluk Ambon. *Jurnal TRITON*. 16(1):1-7
- Victoria, A. V. (2017). Kontaminasi mikroplastik di perairan tawar. *Teknik Kimia ITB*, (1-10).
- Wahyuni RI dan Faujiah NI.2022. Kelimpahan dan Karakteristik Mikroplastik pada Air Minum serta Potensi Dampak terhadap Kesehatan Manusia. *Gunung Djati Conference Series Vol.7* : 89-95
- Widiaratih R, Indrayanti E, Salsabila. 2022. Karakteristik Mikroplastik di Perairan Pulau Tengah Karimunjawa. *Indonesia Journal of Oceanography Vol.4(4)* : 99-108
- Wu, W., Qiu, J., Lin, Y., Li, X., Li, W., Ma, K., ... & Fu, Y. (2023). Enzymatic Stress Responses of *Coreius guichenoti* to Microplastics with Different Particle Sizes. *Toxics*, 11(12), 1022.
- Wulandari D, Putri R, Hariyanti, Rahmi H. 2020. Analisis Hasil Fraksi Protease dan Lipase yang berasal dari Saluran Pencernaan Udang Vaname (*Litopenaeus Vannamei*). *Jurnal Bioteknologi dan Biosains Indonesia Vol.7(2)*
- Wulandari D, Putri R, Hariyati, Rahmi. 2020. Analisa Hasil Fraksina si Protease dan Lipase yang Berasal dari Saluran Pencernaan Udang Vaname (*Litopenaseus Vannamei*). *Bioteknologi dan Biosains Indonesia Vol.7(2)*
- Yan, W., Hamid, N., Deng, S., Jia, P. P., & Pei, D. S. (2020). Individual and combined toxicogenetic effects of microplastics and heavy metals (Cd, Pb, and Zn) perturb gut microbiota homeostasis and gonadal development in marine medaka (*Oryzias melastigma*). *Journal of hazardous materials*, 397, 122795.
- Yao, J., Gao, Z., Wang, Z., Ge, Z., Lin, Y., Huang, L., ... & Deng, Y. (2025). The Combined Effects of Cadmium and Microplastic Mixtures on the
- Yao, J., Gao, Z., Wang, Z., Ge, Z., Lin, Y., Huang, L., ... & Deng, Y. (2025). The Combined Effects of Cadmium and Microplastic Mixtures on the Digestion, Energy Metabolism, Oxidative Stress Regulation, Immune Function, and Metabolomes in the Pearl Oyster (*Pinctada fucata martensii*). *Fishes (MDPI AG)*, 10(3).
- Yap, C. K., Muhamad Azlan, A. G., Cheng, W. H., & Tan, S. G. (2011). Accumulation and depuration of Cu and Zn in the blood cockle *Anadara granosa* (Linnaeus) under laboratory conditions.

- Yona D, Zahran FM, Fuad ZAM, Prananto PY, Harlyan IL.2022. Mikroplastik di Perairan Jenis, Metode Sampling dan Analisis Laboratorium : Malang
- Yuan, W., Zhou, Y., Chen, Y., Liu, X., & Wang, J. (2020). Toxicological effects of microplastics and heavy metals on the *Daphnia magna*. *Science of the Total Environment*, 746, 141254.
- Yuniarti MS, Untung KA, Moch, Permata L, Masith HP.2022. Analisis Jenis Mikroplastik pada Sediemn Dasar Perairan Pulau Untung Jawa, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. *Jurnal Indonesia Sosial Sains* Vol.3(3)
- Zhang, C., Lin, C., Li, L., Mohsen, M., Wang, T., Wang, X., ... & Huang, W. (2023). Single and combined effects of microplastics and cadmium on the sea cucumber *Apostichopus japonicus*. *Marine Environmental Research*, 186, 105927.
- Zhang, Y., Kang, S., Wang, Z., & Wu, C. (2021). Microplastics in soil: A review on methods, occurrence, sources, and potential risk. *Science of the Total Environment*, 780, 146546.