

TA/TL/2025/2029



JURUSAN  
TEKNIK LINGKUNGAN

## **TUGAS AKHIR**

### **Adsorpsi Antibiotik *Tetracycline* pada Mikroplastik *High Density Polyethylene (HDPE)***

**Miranda Talitha Sawitri**  
**21513156**

**Dosen Pembimbing I:**  
**Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.**

**Dosen Pembimbing II:**  
**Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., IPU.**

**Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana**  
**Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan**  
**Universitas Islam Indonesia**  
**2025**



DEPARTMENT  
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

## **BACHELOR THESIS**

*Adsorption of Tetracycline Antibiotics on Microplastics High  
Density Polyethylene ( HDPE )*

**Miranda Talitha Sawitri**

**21513156**

**Supervisor I:**

**Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.**

**Supervisor II:**

**Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., IPU.**

**Environmental Engineering Bachelor Program**

**Faculty of Civil Engineering and Planning**

**Universitas Islam Indonesia**

**2025**

## LEMBAR PENGESAHAN

### TUGAS AKHIR

#### Adsorpsi Antibiotik *Tetracycline* pada Mikroplastik *High Density Polyethylene* ( HDPE )

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

**Miranda Talitha Sawitri**

**21513156**

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

 18/9/25


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

(Pembimbing 1)

 18/9/2025

Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., IPU.

(Pembimbing 2)

 18/9/2025

Dr. Supha Rahmawati, S.T., M.T.

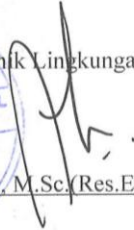
(Penguji 1)

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana



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



## PERNYATAAN

Saya, penyusun tugas akhir ini, menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 28 Mei 2025

Yang membuat pernyataan,



Miranda Talitha Sawitri

21513156

## PRAKATA

*Assalamualaikum wr.wb*

*Alhamdulillahirobbil'alamin.* Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya serta kelancaran dalam penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ **Adsorpsi Antibiotik Tetracycline pada Mikroplastik High Density Polyethylene (HDPE)**”. Penulisan skripsi ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik (S.T.) Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Papaku Tri Joko Witanto. Terimakasih atas segala pengorbanan yang tak pernah henti demi masa depanku, doa, kerja keras, dan kasih sayang yang tak pernah putus yang diberikan kepada penulis. Semua pencapaian ini, termasuk terselesaikannya skripsi ini, takkan mungkin terwujud tanpa kehadiran dan dukungan semangat dari Papa. Semoga kelak penulis menjadi pribadi yang membanggakan dan membalas semua yang telah Papa berikan dengan ketulusan hati, aamiin.
2. Mamaku, Almh. Darwanti Utamisari, S.Kom.,M.M. Terima kasih atas segala kasih sayang, doa, dan ketulusan yang Mama berikan semasa hidup hingga akhir hayatmu. Cinta dan semangatmu akan selalu menjadi kekuatan dalam setiap langkahku. Terimakasih telah menjadi alasan penulis untuk tetap semangat berjuang meraih gelar sarjana yang Mama impikan, walaupun berat harus melewati kerasnya kehidupan tanpa Mama. Semoga Mama bangga dengan usaha dan perjuangan penulis selama ini dan bahagia di surganya Allah SWT, aamiin.

3. Abangku satu-satunya Defrian Putut Wasitto, S.Pd yang selalu memberikan dukungan, motivasi, dan membantu kepada Penulis hal apapun.
4. Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing I skripsi penulis atas waktu yang diluangkan, bimbingan, memberikan masukan, arahan serta saran yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
5. Bapak Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., IPU, selaku Dosen Pembimbing II skripsi penulis atas segala waktu yang diluangkan, bimbingan, dan memberikan masukan, arahan serta saran yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
6. Ibu Dr.Suphia Rahmawati, S.T.,M.T, selaku Dosen Penguji skripsi penulis atas waktu yang diluangkan, bimbingan, dan memberikan masukan, arahan serta saran yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.
7. Seluruh keluarga yang senantiasa mendoakan dan memberikan semangat kepada Penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Seluruh dosen pengajar di Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu kepada Penulis.
9. Teman – teman Angkatan 2021 Teknik Lingkungan yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.
10. Teman – teman dekat SMP dan SMA penulis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.

Sleman, 28 Mei 2025  
Miranda Talitha Sawitri

## **Adsorpsi Antibiotik *Tetracycline* pada Mikroplastik *High Density Polyethylene* ( HDPE )**

Mahasiswa : Miranda Talitha Sawitri  
NIM : 21513156  
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana  
Pembimbing I : Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.  
Pembimbing II : Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., IPU.

### **Abstrak**

Pencemaran mikroplastik di lingkungan perairan menjadi perhatian yang berkembang secara global, terutama karena memiliki kemampuan menyerap senyawa polutan organik yaitu tetracycline. Penelitian ini menjelaskan adsorpsi antibiotik tetracycline pada mikroplastik *High Density Polyethylene* (HDPE), yang bertujuan menentukan efektivitas dan kondisi optimum adsorpsi berdasarkan pH, konsentrasi, dan waktu kontak. Proses aging dilakukan menggunakan sinar UV selama 100 jam. Karakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengamati perubahan gugus fungsi dan morfologi permukaan mikroplastik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum proses aging terjadi pada pH 9 dengan efisiensi adsorpsi 37,45% dan kapasitas adsorpsi 0,76 mg/g. Pada konsentrasi, nilai optimum diperoleh konsentrasi 10 mg/L dengan efisiensi adsorpsi sebesar 38,96% dan kapasitas adsorpsi 3,37 mg/g. Untuk waktu optimum pada 24 jam dengan efisiensi adsorpsi sebesar 43,37% dan kapasitas adsorpsi sebesar 1,14 mg/g. Proses adsorpsi paling sesuai menggunakan Isotherm Langmuir dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2 = 0,9685$ ) dan Kinetika *Pesudo Second Order* ( $R^2 = 0,9991$ ) sesuai untuk menggambarkan proses adsorpsi.

Kata kunci: Adsorpsi, *Tetracycline*, Mikroplastik, HDPE.

## ***Adsorption of Tetracycline Antibiotics on Microplastics High Density Polyethylene ( HDPE )***

*Student* : Miranda Talitha Sawitri  
*Student Number* : 21513156  
*Study Program* : Environmental Engineering – Bachelor Program  
*Supervisor I* : Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.  
*Supervisor II* : Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.,ES., Ph.D., IPU.

### ***Abstract***

*Microplastic pollution in aquatic environments is a growing concern globally, especially because it has the ability to absorb organic pollutant compounds, namely tetracycline. This study explains the adsorption of tetracycline antibiotics on High Density Polyethylene (HDPE) microplastics, which aims to determine the effectiveness and optimum conditions of adsorption based on pH, concentration, and contact time. The aging process was carried out using UV light for 100 hours. Characterization using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscope (SEM) to observe changes in functional groups and surface morphology of microplastics.*

*The results showed that the optimum aging process conditions occurred at pH 9 with an adsorption efficiency of 37.45% and an adsorption capacity of 0.76 mg/g. At concentration, the optimum value was obtained at a concentration of 10 mg/L with an adsorption efficiency of 38.96% and an adsorption capacity of 3.37 mg/g. For the optimum time at 24 hours with an adsorption efficiency of 43.37% and an adsorption capacity of 1.14 mg/g. The most appropriate adsorption process using Langmuir Isotherm with a determination coefficient value ( $R^2 = 0.9685$ ) and Pseudo Second Order Kinetics ( $R^2 = 0.9991$ ) is appropriate to describe the adsorption process.*

*Keywords: Adsorption, Tetracycline, Microplastic, HDPE.*

## DAFTAR ISI

PRAKATA	i
Abstrak	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Mikroplastik	4
2.2 Mikroplastik High Density Polyethylene ( HDPE )	4
2.3 Dampak Mikroplastik di Lingkungan	5
2.4 Pencemar Organik Antibiotik <i>Tetracycline</i>	6
2.5 Adsorpsi	8
2.6 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)	9
2.7 Scanning Electron Microscope (SEM)	10
BAB III METODE PENELITIAN	11
3.1 Alat dan Bahan	11
3.2 Prosedur Penelitian	11
3.4 Analisis Data	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Karakterisasi Adsorben	21
4.2 Percobaan Uji Adsorpsi	23
4.4 Isotherm Adsorpsi	31
4.5 Kinetika Adsorpsi	33

BAB V PENUTUP	36
5.1    Kesimpulan	36
5.2    Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	42
Lampiran	42
RIWAYAT HIDUP	1

## DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Morfologi Mikroplastik HDPE <i>Aging</i> (a), Mikroplastik HDPE Tanpa <i>Aging</i> (b), dan Mikroplastik HDPE Adsorpsi (c) .....	23
Tabel 4. 2 Uji Adsorpsi Variasi pH .....	24
Tabel 4. 3 Uji Adsorpsi Variasi Konsentrasi .....	26
Tabel 4. 4 Uji Adsorpsi Variasi Waktu .....	28
Tabel 4. 5 Pemodelan Isotherm Adsorpsi Mikroplastik HDPE <i>Aging</i> dan Tanpa <i>Aging</i> .....	33
Tabel 4. 6 Pemodelan Kinetika Adsorpsi .....	35

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Molekul Tetracycline.....	8
Gambar 2. 2 Ilustrasi Proses Adsorpsi.....	9
Gambar 3. 1 Biji Plastik High Density Polyethylene (HDPE) .....	5
Gambar 3. 2 Prosedur Penelitian .....	12
Gambar 3. 3 Proses Aging Mikroplastik High Density Polyethylene (HDPE) .....	13
Gambar 3. 4 Diagram Alir Percobaan Adsorpsi Variasi pH .....	15
Gambar 3. 5 Diagram Alir Percobaan Adsorpsi Variasi Konsentrasi .....	16
Gambar 3. 6 Diagram Alir Percobaan Adsorpsi Variasi Waktu.....	17
Gambar 4. 1 Grafik Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) pada Mikroplastik High Density Polyethylene (HDPE) .....	21
Gambar 4. 2 Grafik Hubungan pH dengan Efisiensi Removal (%) .....	25
Gambar 4. 3 Hubungan Variasi Konsentrasi dengan % Adsorpsi.....	27
Gambar 4. 4 Hubungan Variasi Konsentrasi dengan Kapasitas Adsorpsi...	28
Gambar 4. 5 Hubungan Variasi Waktu Kontak dengan Efisiensi Removal (%) .....	30
Gambar 4. 6 Hubungan Variasi Waktu Kontak dengan Kapasitas Adsorpsi .....	31
Gambar 4. 7 Grafik Isotherm Langmuir .....	32
Gambar 4. 8 Grafik Isotherm Freundlich .....	32
Gambar 4. 9 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo Second Order .....	34
Gambar 4. 10 Grafik Kinetika Adsorpsi Pseudo First Order.....	34

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Kurva Larutan Standar .....	42
Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian.....	42

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Plastik merupakan polimer sintesis yang tersusun dari monomer berbasis hidrokarbon, yang berasal dari minyak bumi maupun gas alam, dengan sifat ringan, tahan lama, dan mudah dibentuk (Andrady, 2011). Seiring dengan penggunaannya yang besar-besaran, plastik dapat terurai menjadi partikel yang berukuran sangat kecil disebut dengan mikroplastik. Mikroplastik merupakan plastik yang mempunyai ukuran kecil (<5mm) yang sulit terurai, sehingga membuat material akan tetap ada dalam jangka waktu yang lama. Maka, dapat menimbulkan permasalahan yang cukup serius terutama pada perairan (Hafitri et al., 2022). Mikroplastik terdiri dari dua bagian yaitu mikroplastik primer dan mikroplastik sekunder. Mikroplastik primer seperti produk kosmetik dan pembersih, sedangkan untuk mikroplastik sekunder yaitu berasal dari plastik ukuran besar yang terpecahkan atau mengalami fragmentasi menjadi ukuran kecil. Kemudian berdasarkan jenisnya mikroplastik terbagi menjadi 4 jenis yaitu *fiber*, *fragmen*, *film*, dan *microbead* (Suhardi et al., 2024). Mikroplastik dibedakan menjadi tujuh berdasarkan polymer yang membentuknya seperti *Polyethylene Terephthalate* (PET atau PETE), *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density Polyethylene* (LDPE) atau *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), dan *Polystyrene* (PS) (Jamika et al., 2023).

Salah satu jenis mikroplastik yang umum ditemukan yaitu *High Density Polyethylene* (HDPE) merupakan jenis termoplastik PE dari rantai panjang etilen dengan sedikit percabangan, tahan terhadap kimia, ketahanannya kuat, dan sulit terdegradasi (Andrady, 2011). HDPE banyak dimanfaatkan dalam industri seperti kantong plastik, botol susu, botol detergen, pipa air, dan sebagainya. Karakteristik HDPE memiliki kecenderungan hidrofobik yang dapat menyebabkan tingkat degradabilitas HDPE rendah sehingga tidak dapat terurai secara alami bahkan hingga ribuan tahun (Khoironi et al., 2021).

Perilaku mikroplastik di lingkungan yang dapat menyerap berbagai pencemar di sekitarnya, salah satunya yaitu *tetracycline*. *Tetracycline* merupakan salah satu

antibiotik yang paling umum digunakan pada industri peternakan dan menjadi salah satu obat farmasi dan perawatan pribadi yang bermunculan dan menjadi masalah yang memprihatinkan. *Tetracycline* menunjukkan potensi risiko yang mengancam kesehatan ekosistem karena mudah tetap berada di lingkungan. Pada penelitian yang akan dilakukan bahwa antibiotik *tetracycline* diserap oleh mikroplastik (Chen et al., 2021).

Mikroplastik telah menjadi perhatian global karena sifatnya yang persisten dan kemampuannya dalam berinteraksi dengan berbagai pencemar organik, termasuk antibiotik seperti *tetracycline*. Mikroplastik seperti *High Density Polyethylene* (HDPE) dan *Polistirena* (PS) memiliki luas permukaan yang besar dan sifat hidrofobik yang memungkinkan adsorpsi senyawa organik. Penelitian ini menunjukkan bahwa interaksi antara mikroplastik dan *tetracycline* dapat terjadi melalui berbagai mekanisme, seperti ikatan hidrogen, gaya *van der Waals*, dan interaksi elektrostatik yang dipengaruhi oleh pH. Faktor-faktor ini dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi *tetracycline* pada permukaan mikroplastik, sehingga memperpanjang waktu tinggal antibiotik di lingkungan perairan dan meningkatkan risiko bioakumulasi dalam organisme akuatik (Guo et al., 2019).

Penelitian ini bertujuan memahami mekanisme adsorpsi antibiotik *tetracycline* pada mikroplastik HDPE dan dampaknya terhadap lingkungan perairan. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Chen et al., 2021) menjelaskan bahwa penelitian tersebut adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik *polyethylene* secara umum tanpa spesifikasi jenis PE yang digunakan dan hanya meneliti kapasitas adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik berjenis PE. Pada penelitian ini mengkhususkan pada mikroplastik berjenis *High Density Polyethylene* yang memiliki sifat hidrofobik lebih kuat dibandingkan dengan *Low Density Polyethylene* dan pada penelitian ini dapat mengetahui kondisi optimum adsorpsi berdasarkan analisis pengaruh pH, konsentrasi, dan waktu *tetracycline* terhadap adsorpsi pada mikroplastik HDPE.

## **1.2 Perumusan Masalah**

1. Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi proses adsorpsi *Tetracycline* oleh mikroplastik HDPE?

2. Seberapa besar kapasitas adsorpsi *tetracycline* terhadap mikroplastik HPDE pada kondisi optimum?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi *tetracycline* oleh mikroplastik HDPE.
2. Menentukan seberapa besar kapasitas adsorpsi *tetracycline* terhadap mikroplastik HDPE pada kondisi optimum.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang didapatkan dari melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai kondisi optimum adsorpsi *tetracycline* oleh mikroplastik HDPE, yang dapat digunakan untuk memahami potensi risiko mikroplastik sebagai vektor pencemar organik dalam ekosistem air.
2. Menambahkan wawasan mengenai mekanisme adsorpsi antibiotik *tetracycline* oleh mikroplastik HDPE dalam larutan air.
3. Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang dampak lingkungan dari Mikroplastik.

### **1.5 Ruang Lingkup**

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Air Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
2. Penelitian ini menggunakan metode Batch Adsorpsi dengan variasi pH, waktu ,dan konsentrasi.
3. Plastik yang digunakan pada penelitian ini berjenis *High Density Polyethylene* (HDPE) (5502GA).
4. Pencemar organik yang akan digunakan yaitu *tetracycline*.
5. Pengujian karakteristik gugus fungsi adsorben yang dilakukan dengan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR).
6. Analisis dampak permukaan adsorben dilakukan menggunakan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Mikroplastik**

Mikroplastik merupakan bagian terkecil dari plastik yang berukuran <5mm. Mikroplastik yang telah masuk ke lingkungan akan terakumulasi di perairan dan tidak mudah dihilangkan karena sifat mikroplastik yaitu persisten (Ayuningtyas et al., 2019). Ukuran plastik dibagi menjadi 3 jenis yaitu Makroplastik merupakan plastik yang memiliki ukuran lebih dari 2,5 cm, Mesoplastik merupakan plastik yang memiliki ukuran 5 mm sampai 2,5 cm dan Mikroplastik ini merupakan plastik yang berukuran kurang dari 5 mm, salah satunya berasal dari limbah plastik yang mempengaruhi keseimbangan lingkungan dan mikroplastik (Wijayanti et al., 2021).

Mikroplastik bersifat ubiquitus dan memiliki ketersediaan biologis yang tinggi bagi organisme air karena ukurannya yang sangat kecil dan jumlahnya yang sangat banyak di lautan. Oleh karena itu, makhluk hidup laut akan mengonsumsi mikroplastik tersebut. Hal ini berdampak pada rantai makanan laut, di mana jika manusia mengonsumsi ikan laut yang terpapar mikroplastik, maka dapat menyebabkan masalah kesehatan pada manusia. Menurut penelitian (Dewi, 2022) keberadaan mikroplastik di lingkungan sering ditetapkan melalui studi akuatik. Sebagian besar polusi mikroplastik yang berasal dari tekstil, ban, dan debu perkotaan yang menyumbang lebih dari 80% dari semua mikroplastik di lingkungan.

#### **2.2 Mikroplastik High Density Polyethylene ( HDPE )**

Mikroplastik HDPE merupakan mikroplastik yang berukuran <5m yang berasal dari degradasi plastik HDPE yang melalui proses fotodegradasi. HDPE merupakan polimer yang banyak digunakan untuk produk sehari-hari seperti botol shampoo, galon, dan kantong plastik karena ketahanan terhadap bahan kimia dan kekuatannya (Eriksen et al., 2014).

*High Density Polyethylene* (HDPE) memiliki sifat fisik dan kimia pada proses adsorpsi. Sifat fisik HDPE memiliki kristalinitas tinggi 50-70% dapat membuat HDPE lebih stabil dan sulit terdegradasi, jika terdapat proses *aging* maka kapasitas adsorpsi dapat meningkat ( Gao et al., 2022). Mikroplastik HDPE memiliki densitas

sekitar 0,941-0,965 g/cm<sup>3</sup> lebih padat (Andrady, 2011). Hidrofobisitas tinggi dapat mempermudah adsorpsi senyawa hidrofobik melalui interaksi gaya van der Waals (Wang et al., 2020). Adapun sifat kimia HDPE memiliki efek pH terhadap setiap muatan permukaan, pada pH netral hingga sedikit asam ( pH 5-9) adsorpsi *tetracycline* meningkat (Xu et al., 2018).

HDPE memiliki ketahanan yang tinggi terhadap degradasi secara biologis maupun fotodegradasi oleh sinar matahari. Hal ini menjadi salah satu polimer dalam pencemaran mikroplastik di lingkungan perairan. HDPE yang terlepas ke lingkungan dapat bertahan lama selama puluhan tahun dan berpotensi menyerap berbagai kontaminan salah satunya antibiotik *tetracycline* (Gewert et al., 2015).

Pada lingkungan perairan, jenis mikroplastik yang paling umum adalah *Polyethylene*, termasuk HDPE yang berkontribusi terhadap lebih dari sepertiga produksi serat mikroplastik seluruh dunia. Polimer ini sangat sulit diurai, karena sifatnya yang tidak larut dalam air, hidrofobisitas, yang disebabkan oleh kerangka atom karbon linier, kristalinitas, dan berat molekul tinggi serta ketahannya terhadap asam, ester, basa, dan alkohol yang sulit terdegradasi di lingkungan (Newrick et al., 2025).



**Gambar 3. 1** Biji Plastik High Density Polyethylene (HDPE)

Sumber : Dokumentasi Pribadi

### **2.3 Dampak Mikroplastik di Lingkungan**

Penggunaan kemasan plastik di lingkungan semakin meningkat dan masyarakat membuang sampah plastik secara sembarangan sehingga menyebabkan kerusakan dan mencemari badan air sehingga mengancam manusia, tumbuhan, dan

hewan. Plastik mempunyai sifat sulit terurai atau biasa disebut *non-biodegradable*, plastik tidak dapat digunakan kembali karena akan merugikan ekosistem dan kehidupan manusia.

Menurut penelitian, *microbeads* dalam kosmetik semakin banyak digunakan untuk menggantikan eksfoliasi alami (termasuk batu apung, oatmeal, dan kulit kenari) dalam kosmetik sekali pakai seperti pembersih scrub dan pasta gigi. Granule atau butiran pada umumnya tergolong ke dalam jenis mikroplastik primer seperti *microbeads* yang terdapat pada produk kebersihan, perawatan dan kosmetik (Sandra & Radityaningrum, 2021).

Menurut (Wijayanti et al., 2021) keberadaan mikroplastik di lingkungan sungai disebabkan oleh aktivitas fisik dan suhu yang panas. Potongan-potongan besar komponen plastik mengalami perubahan bentuk pada saat berkaitan dengan aktivitas gelombang, yang dapat merusak struktur mekanis pada plastik, sehingga banyaknya mikroplastik ditemukan di dalam lingkungan laut.

Dampak mikroplastik HDPE terhadap lingkungan seperti adanya pencemaran ekosistem perairan yang dimana mikroplastik HDPE dapat mengapung tersebar luas di permukaan air, sehingga dapat mencemari ekosistem perairan dan mengganggu biota laut. Gangguan pada biota laut terjadi jika biota laut dapat memakan mikroplastik HDPE, yang dapat menyebabkan terjadinya gangguan pencernaan, penurunan nafsu makan, dan berpotensi kematian (Widianarko & Hantoro, 2018).

#### **2.4 Pencemar Organik Antibiotik *Tetracycline***

Antibiotik merupakan obat yang digunakan untuk mengatasi infeksi. Antibiotik bisa bersifat bakterisid (membunuh bakteri) atau bakteriostatik (menghambat berkembang biaknya bakteri) (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2021 Tentang Pedoman Penggunaan Antibiotik, 2021). *Tetracycline* memiliki massa molekul 444,43 g/mol dengan rumus molekul  $C_{22}H_{24}N_2O_8$ . *Tetracycline* digunakan sebagai antibiotik yang dapat digunakan untuk mengobati kolera, tifus, demam, dan sebagainya (Ramachandran & Schaefer, 2021). *Tetracycline* senyawa obat yang banyak digunakan dalam bidang kedokteran hewan, dan pengobatan manusia untuk mengobati penyakit. Kontaminasi lingkungan perairan dengan antibiotik dianggap sebagai

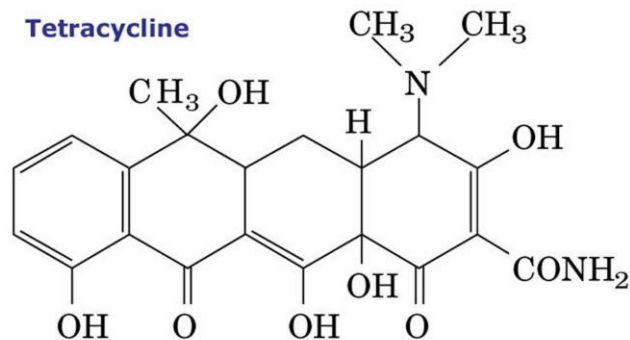
permasalahan serius. *Tetracycline* merupakan salah satu antibiotik yang digunakan pada tahun 1948 untuk mengobati berbagai infeksi mikroba, masuknya *tetracycline* ke dalam ekosistem perairan telah banyak menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Anbarani et al., 2023). Penggunaan antibiotik *tetracycline* lebih dominan terjadi di bidang kedokteran hewan terutama dalam peternakan, dibandingkan dengan penggunaannya dalam kesehatan manusia (Hoenen et al., 2015). Adapun tantangan lingkungan lebih besar dari penggunaan hewan dikarenakan dosis besar dan ekskresi tinggi, *tetracycline* dari hewan ternak banyak terbuang ke lingkungan melalui limbah dari kandang peternakan (Sarmah et al., 2006). Obat-obatan yang mengandung *tetracycline* antara lain untuk manusia yaitu *Achromycin V*, *Sumycin*, dan *Tetracycln*, sedangkan untuk peternakan sering digunakan merk seperti *Terramycin*, *Aureomycin*, dan *OTC 50/100*.

*Tetracycline* lebih dari 75% dikeluarkan dalam bentuk aktif dan dilepaskan ke lingkungan melalui urin dan feses manusia dan hewan. (Xu et al., 2021). Konsentrasi *tetracycline* di air permukaan dan air tanah sekitar 0,15 µg/L. (Bansal, 2013). Sedangkan untuk konsentrasi *tetracycline* di peternakan sekitar 0,70 µg/L (Holzel et al., 2010). Berdasarkan penelitian (Gopal et al., 2020) *tetracycline* pada air limbah memiliki konsentrasi 0-32 µg/L dan untuk bahan kimia aktif seperti *tetracycline* belum ada konsentrasi lingkungan maksimum yang diizinkan secara global.

Penggunaan *tetracycline* secara berlebihan ke lingkungan dapat menimbulkan *Antibiotic Resistance Genes* (ARGs). Salah satu mekanismenya adalah melalui *efflux pump* yang dibentuk oleh gen seperti tet (A), tet (B), dan tet (C), yang umumnya ditemukan pada bakteri gram negatif seperti *E.Coli* dan *Salmonella*, mekanisme *efflux pump* ini bekerja dengan memompa keluar antibiotik dari dalam sel (Chopra & Roberts, 2001).

Selain itu, resistensi terjadi melalui *Ribosomal Protection Proteins* (RPPs), yang dibentuk oleh gen tet (M), tet (O), dan tet (Q). Protein ini melindungi ribosom dari *tetracycline*, yang dapat memungkinkan bakteri tetap memproduksi protein meskipun ada antibiotik. Gen ini ditemukan pada bakteri *Streptococcus*, *Enterococcus*, dan *Bacteroides* (Connell et al., 2003).

Berdasarkan mekanisme tersebut menunjukkan paparan antibiotik yang berada di lingkungan, dapat memperkuat keberadaan ARGs di lingkungan seperti air limbah, tanah, dan sedimen, yang berdampak negatif terhadap kesehatan manusia dan hewan (Kim & Tanaka, 2009). Keberadaan gen resistensi *tetracycline* seperti tet (A), tet (B), dan tet (C) memberikan bakteri kemampuan untuk bertahan lebih lama di ekosistem yang tercemar antibiotik. Dalam jangka panjang, kondisi dapat meningkatkan penyebaran resistensi antibiotik di lingkungan dan menimbulkan ancaman apabila gen tersebut berpindah ke bakteri patogen, apabila bakteri patogen yang terpapar ARGs masuk ke dalam tubuh manusia akan sulit diobati karena bakteri sudah resisten terhadap antibiotik (Rizzo et al., 2013).



Gambar 2. 1 Struktur Molekul Tetracycline

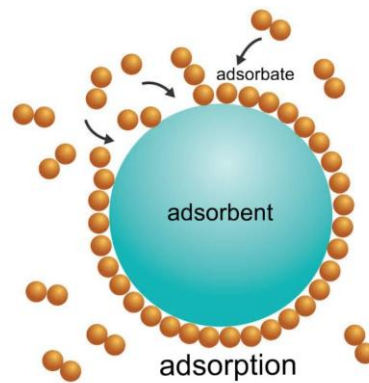
## 2.5 Adsorpsi

Adsorpsi atau penyerapan adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida, cairan maupun gas terikat kepada suatu padatan atau cairan (zat penyerap, adsorben) dan akhirnya membentuk suatu lapisan tipis atau film (zat ternyerap, adsorbat) pada permukaannya (Purwitasari et al., 2022). Adsorpsi fisika adalah proses interaksi antara adsorben dengan adsorbat yang melibatkan gaya-gaya antar molekul seperti gaya van der Waals, sedangkan adsorpsi kimia terjadi jika interaksi adsorben dan adsorbat melibatkan pembentukan ikatan kimia. Proses adsorpsi melibatkan berbagai macam gaya yaitu gaya van der Waals, gaya elektrostatik, ikatan hidrogen dan ikatan kovalen (Wijayanti et al., 2018).

Proses adsorpsi terjadi pada permukaan atau antar fase, dimana zat terlarut terakumulasi akibat adanya interaksi fisikokimia antara zat dengan adsorben (Zulfania et al., 2022). Adhesi antara adsorben dan adsorbat merupakan kekuatan pendorong utama proses ini. Kinetika adsorpsi mirip dengan kinetika kimia, dengan

fokus pada laju adsorpsi dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Laju adsorpsi sangat dipengaruhi oleh jenis adsorben (seperti karbon aktif, zeolit) dan karakteristik adsorbat, serta kondisi lingkungan seperti suhu dan tekanan (Miri & Narimo, 2022).

Pada penelitian ini menggunakan batch adsorpsi yaitu terjadinya perpindahan massa dari fasa cair (Adsorbat) ke dalam pori mikroplastik hdpe (adsorben) hingga mencapai kondisi kesetimbangan. Batch adsorpsi dilakukan untuk memperikan kapasitas adsorpsi *tetracycline*, kecepatan adsorpsi dan interaksi antara adsorben dengan adsorbat (Rahayu & Nurhayati, 2023). Berikut merupakan ilustrasi proses adsorpsi dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



**Gambar 2. 2** Ilustrasi Proses Adsorpsi

<https://images.app.goo.gl/TGSWWuoXDzQZvtCz8>

## 2.6 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

*Fourier Transform Infrared Spectroscopy* merupakan metode pengukuran secara spektroskopi untuk mendeteksi struktur molekul senyawa. Pada pengukuran sampel menggunakan instrumen *Spektrofotometer* FT-IR , hasil pengukuran yang diperoleh berupa spektrum (Subamia et al., 2023). Analisis FT-IR dapat digunakan untuk menganalisis gugus fungsi organik maupun anorganik dengan rentang gelombang  $4000\text{ cm}^{-1} - 400\text{ cm}^{-1}$  (Sulistiyani et al., 2021).

Spektroskopi FTIR ini adalah suatu alat atau instrument yang dapat digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi. Spektroskopi FTIR dapat menganalisis adanya campuran dalam sampel tanpa merusak sampel yang akan dianalisisnya. Spektrum inframerah yang dihasilkan merupakan informasi data yang kompleks, sehingga

menggambarkan secara detail menyeluruh karakteristik kimia suatu sampel (Andriansyah et al., 2021).

## **2.7 Scanning Electron Microscope (SEM)**

Alat *Scanning Electron Microscope* (SEM) digunakan untuk menganalisis morfologi permukaan mikroplastik dengan resolusi yang sangat tinggi. SEM bekerja dengan memindai permukaan sampel menggunakan berkas elektron yang memberikan gambar resolusi tinggi, sehingga memungkinkan identifikasi ukuran, bentuk, dan struktur permukaan mikroplastik. SEM sering digunakan dalam penelitian mikroplastik untuk mempelajari efek degradasi seperti fotodegradasi, oksidasi, atau paparan suhu tinggi terhadap mikroplastik. Melalui teknik ini, para peneliti dapat memperoleh gambaran yang jelas mengenai bagaimana mikroplastik terdegradasi atau terkontaminasi dengan bahan lain seperti polutan (Pourebrahimi & Pirooz, 2023).

Selain itu, degradasi permukaan mikroplastik akan dinilai dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk lebih memahami indikasi kerusakan lingkungan (Kanak et al., 2024). *Scanning Electron Microscope* (SEM) ini dapat memberikan informasi permukaan detail dengan cara menelusuri sampel dalam pola raster dengan berkas elektron (Choudhary & Priyanka, 2017).

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Alat dan Bahan**

##### **3.1.1 Alat**

Berikut adalah alat yang akan digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

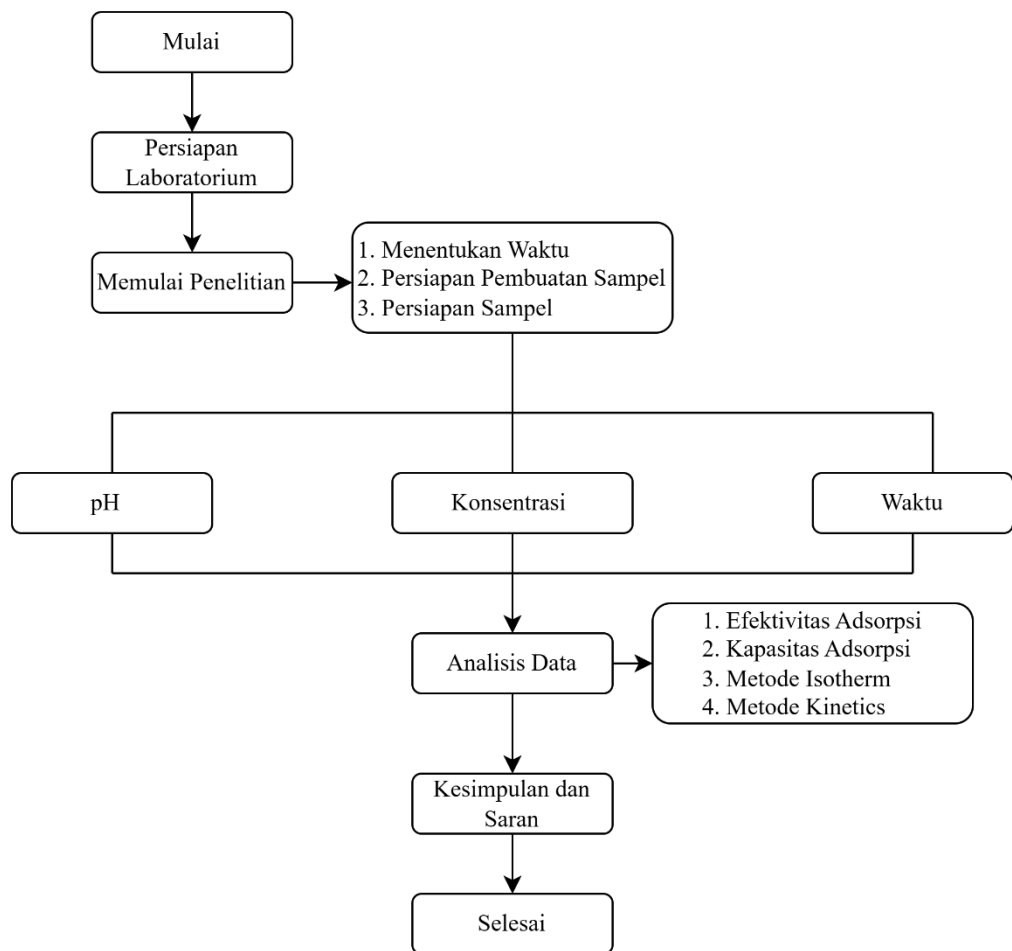
- Erlenmeyer (50 mL dan 100 mL)
- Mesin Giling PCT- 2500
- Orbital shaker
- Filter membran (No.30)
- Gelas ukur
- Pipet filter
- Pipet volumetrik
- Timbangan analitik
- Spektrofotometer UV-Vis
- *Scanning Electron Microscope* (SEM)
- *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

##### **3.1.2 Bahan**

- Aquades
- Antibiotik *Tetracycline*
- Plastik HDPE

#### **3.2 Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian disajikan pada **Gambar 3.2** dibawah ini:



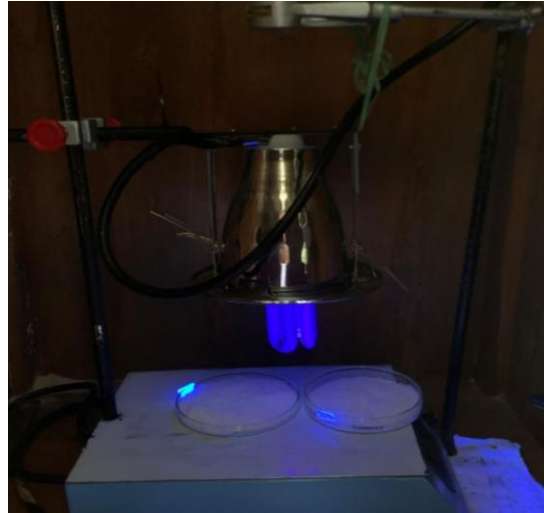
**Gambar 3. 2** Prosedur Penelitian

### 3.2.1 Fotodegradasi Mikroplastik HDPE

Plastik HDPE diperoleh dari biji plastik, sebelum dilakukan fotodegradasi mikroplastik HDPE, biji plastik dilakukan preparasi di giling menggunakan *grinder* dengan ukuran 30 mesh dan dilakukan penyaringan.

Fotodegradasi merupakan suatu proses degradasi suatu material dengan bantuan energi foton yang berasal dari sinar ultraviolet (UV) (Budiman et al., 2014). Fotodegradasi mikroplastik jenis HDPE dilakukan dengan memanfaatkan sinar ultraviolet (UV) untuk mempercepat proses degradasi material. Pada penelitian (Huang et al., 2021) proses *aging* atau penuaan dilakukan selama 10 hari jika lebih lama dapat menyebabkan degradasi yang lebih kompleks pada polimer. Dalam penelitian ini, dilakukan secara kontinu selama 4 hari atau 100 jam untuk mencapai tingkat degradasi tanpa menyebabkan kerusakan total pada sampel, waktu 4 hari atau 100 jam cukup untuk mengamati perubahan struktur

dan kimiawi pada HDPE akibat paparan sinar UV. Sinar UV yang digunakan memiliki daya sebesar 300 watt, memberikan intensitas energi yang cukup tinggi untuk memecah struktur polimer mikroplastik. Berikut **Gambar 3.3** proses aging mikroplastik *High Density Polyethylene* (HDPE).



**Gambar 3. 3** Proses Aging Mikroplastik High Density Polyethylene (HDPE)

Setelah proses degradasi dilakukan, sampel dianalisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengamati perubahan morfologi dan struktur permukaan. Selain itu, analisis *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dilakukan untuk mengetahui perubahan gugus fungsi dan komposisi kimia yang terjadi selama proses degradasi.

Karakterisasi menggunakan FTIR memberikan wawasan tentang potensi perubahan sifat fisikokimia mikroplastik di lingkungan. Pergeseran spektrum dan munculnya gugus fungsional baru menunjukkan bagaimana mikroplastik dapat menjadi lebih reaktif serta meningkatkan potensi sebagai pembawa pencemar dalam sistem perairan (Hernandez et al., 2017).

Sedangkan karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) bertujuan untuk mengidentifikasi perubahan morfologi dan struktur permukaan akibat proses penuaan. Pada mikroplastik *High Density Polyethylene* (HDPE) dan *Polystyrene* sering menunjukkan permukaan yang homogen dengan sedikit retakan atau pori.

### 3.2.2 Pembuatan Kurva Kalibrasi *Tetracycline* (TTC)

Kurva kalibrasi merupakan suatu grafik yang membentuk garis lurus atau linear yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi larutan dengan respon yang diberikan oleh suatu instrumen analisis. Pada penelitian ini, pembuatan kurva kalibrasi dari larutan *Tetracycline* dilakukan dengan konsentrasi 0, 1, 2, 3, 4, dan 5 mg/l, menggunakan alat *Spektrofotometer UV-Visible*.

### 3.2.3 Percobaan Adsorpsi

Percobaan adsorpsi dilakukan untuk mengetahui pengaruh pH, konsentrasi, dan waktu terhadap adsorpsi oleh mikroplastik HDPE. Variasi pH digunakan untuk mengetahui pengaruh kondisi asam atau basa terhadap interaksi antara adsorben dan adsorbat. Variasi konsentrasi dilakukan untuk menentukan kapasitas adsorpsi optimum, sedangkan untuk variasi waktu digunakan untuk mengetahui waktu optimum tercapainya kesetimbangan adsorpsi.

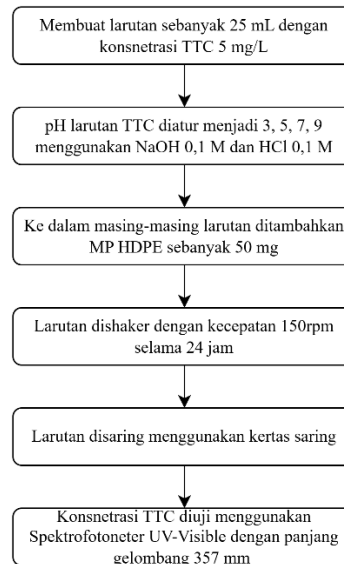
#### a. Pengaruh pH

Dalam penelitian ini dilakukan percobaan mengenai adsorpsi variasi pengaruh pH. Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat larutan sebanyak 25 mL dengan konsentrasi *tetracycline* sebesar 5 mg/L. Setelah membuat larutan, pH larutan *tetracycline* diatur menjadi 3, 5, 7, dan 9 menggunakan NaOH 0,1 M dan HCl 0,1 M. Selanjutnya, setiap larutan ditambahkan mikroplastik HDPE seberat 50 mg. Kemudian larutan diaduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama 24 jam. Setelah proses pengadukan, larutan disaring dengan kertas saring. Setelah disaring konsentrasi *tetracycline* diuji menggunakan *Spektrofotometer UV-Vis* pada panjang gelombang 357 nm. Gelombang 357 nm diidentifikasi sebagai panjang gelombang serapan maksimum untuk penentuan konsentrasi *tetracycline* (Wang & Jian, 2015).

Pengaruh pH terhadap adsorpsi *Tetracycline* oleh mikroplastik PE, PP dan PS. Untuk ketiga jenis mikroplastik tersebut pengaruh nilai pH berada pada rentang nilai pH 2,0-12,0 yaitu kapasitas penyerapan awal meningkat kemudian menurun seiring dengan meningkatnya nilai pH. Puncak serapan semuanya tercapai pada pH 6,0, dan urutannya adalah PS>PP>PE. Hasilnya menunjukkan bahwa pH

mungkin menjadi faktor penting yang mempengaruhi adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik (B. Xu et al., 2018).

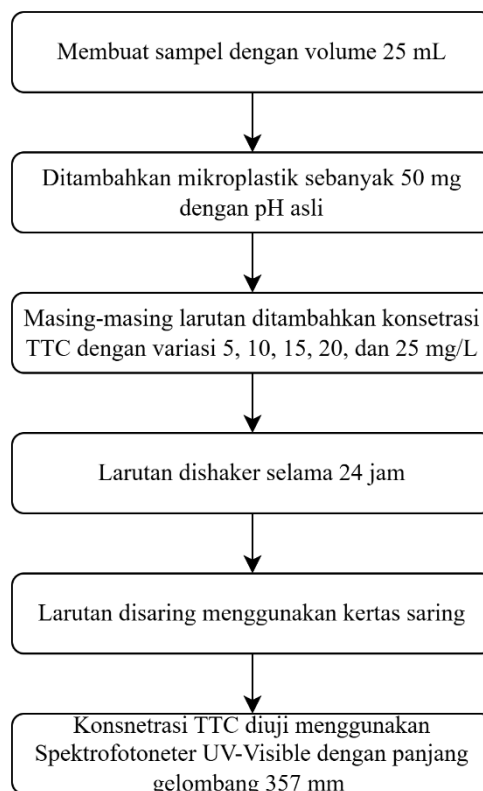
Prosedur percobaan adsorpsi dengan variasi pengaruh pH disajikan pada **Gambar 3.4** dibawah ini :



**Gambar 3. 4** Diagram Alir Percobaan Adsorpsi Variasi pH

#### **b. Pengaruh Konsentrasi TTC**

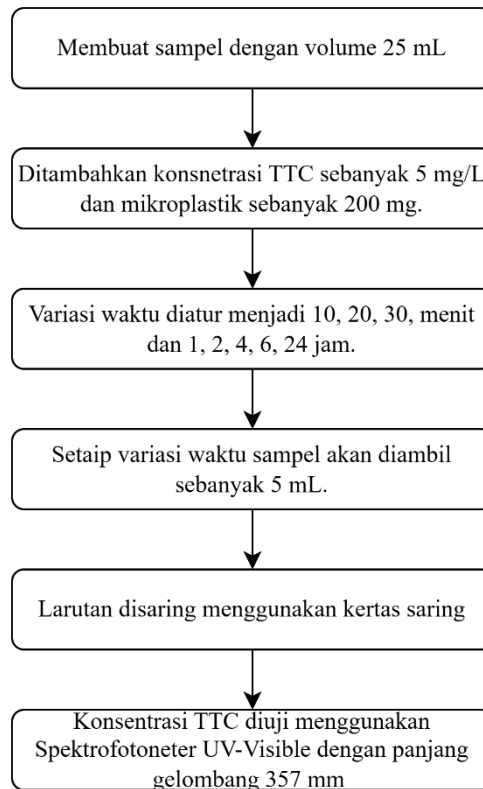
Dalam penelitian ini dilakukan percobaan adsorpsi pada variasi pengaruh konsentrasi *tetracycline*. Hal pertama yang dilakukan adalah membuat sampel dengan volume 25 mL. Setelah membuat sampel, sampel ditambahkan mikroplastik yang telah di grinder sebanyak 50 mg dengan pH kondisi awal sebelum di tambahkan NaOH 0,1 M dan HCl 0,1 M yaitu pH 6. Kemudian, masing masing larutan ditambahkan konsentrasi *tetracycline* dengan variasi 5, 10, 15, 20, dan 25 mg/L. Lalu larutan di *shaker* dengan kecepatan 150rpm selama 24 jam. Kemudian larutan disaring menggunakan kertas saring. Setelah disaring konsentrasi *tetracycline* diuji menggunakan *Spektrofotometer UV-Vis* dengan panjang gelombang 357 nm. Prosedur percobaan adsorpsi dengan variasi pengaruh konsentrasi *tetracycline* disajikan pada **Gambar 3.5** dibawah ini:



**Gambar 3. 5** Diagram Alir Percobaan Adsorpsi Variasi Konsentrasi

**c. Pengaruh Waktu**

Dalam penelitian ini dilakukan percobaan adsorpsi pada variasi pengaruh waktu. Hal pertama yang dilakukan adalah membuat sampel dengan volume 25 mL. Setelah membuat sampel, sampel ditambahkan konsentrasi *tetracycline* sebanyak 5 mg/L dan mikroplastik sebanyak 50 mg. Kemudian variasi waktu adsorpsi diatur menjadi 10, 20, 30 menit dan 1, 2, 4, 6, 24 jam. Pada setiap variasi waktu sampel, akan diambil sebanyak 5 mL. Lalu sampel disaring menggunakan kertas saring. Setelah disaring konsentrasi *tetracycline* diuji menggunakan *Spektrofotometer UV-Vis* dengan panjang gelombang 357 nm. Prosedur percobaan adsorpsi dengan variasi pengaruh waktu disajikan pada **Gambar 3.6** dibawah ini:



**Gambar 3. 6** Diagram Alir Percobaan Adsorpsi Variasi Waktu

### 3.3 Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini meliputi efektivitas adsorpsi, kapasitas adsorpsi, dan pemodelan isotherm dan kinetics adsorpsi.

#### 1) Efektifitas Adsorpsi (%)

Efektivitas adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik dalam penelitian ini dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$Efektivitas\ Adsorpsi\ (\%) = \frac{(C_o - C_e)}{C_o} \times 100\%$$

Dimana :

$C_o$  = Konsentrasi awal *tetracycline* (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi *tetracycline* setelah adsorpsi (mg/L)

Di mana  $C_o$  adalah konsentrasi awal mikroplastik dalam larutan (mg/L) dan  $C_e$  adalah konsentrasi mikroplastik setelah proses adsorpsi mencapai kesetimbangan (mg/L) (Saputro et al., 2023). Nilai efektivitas adsorpsi menunjukkan seberapa besar *tetracycline* yang berhasil dihilangkan dari larutan oleh adsorben mikroplastik.

## 2) Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi merupakan parameter penting dalam mengevaluasi kinerja suatu adsorben dalam menghilangkan mikroplastik dari lingkungan perairan (Yuanita et al., 2016). Metode analisis yang digunakan untuk mengukur kapasitas adsorpsi dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{M} \times V$$

Dimana :

$Q_e$  = Jumlah *tetracycline* yang terserap pada MP (mg/g)

$C_o$  = Konsentrasi awal *tetracycline* (mg/L)

$C_e$  = Konsentrasi *tetracycline* setelah diadsorpsi (mg/L)

$M$  = Massa MP (gram)

$V$  = Volume larutan (L)

## 3) Isotermal Adsorpsi

### a. Metode Isotherm

Hubungan kesetimbangan yang didasarkan pada hubungan matematis dari kesetimbangan yang terbentuk antara jumlah target yang teradsorpsi per gram adsorben ( $q_e$ , mg g<sup>-1</sup>) dengan jumlah zat warna yang tidak teradsorpsi dalam larutan ( $C_e$ , mg L<sup>-1</sup>) pada suhu tertentu didefinisikan oleh isoterm kesetimbangan adsorpsi. Adapun 3 model isoterm seperti adsorpsi *Freundlich*, isoterm adsorpsi *Langmuir* dan isoterm *Dubinini–Radushkevich*, isoterm adsorpsi diteliti. Berdasarkan model isoterm adsorpsi *Langmuir* ditemukan tidak ada interaksi antara molekul yang teradsorpsi dan proses adsorpsi pada permukaan yang seragam (Karachi et al., 2021). Berikut adalah persamaan model Langmuir :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{k_L * q_{max}} + \frac{C_e}{q_{max}}$$

Dimana :

- $k_L$  = Konstanta Langmuir (L/ $\mu$ g)
- $q_{max}$  = Kapasitas adsorpsi maksimum(  $\mu$ g/g)
- $C_e$  = Konsentrasi *tetracycline* dalam larutan pada kesetimbangan ( $\mu$ g/L)

Analisis data metode Isotherm model *Langmuir* dengan cara mengasumsikan monolayer pada permukaan homogen.

Isoterm adsorpsi *Freundlich* biasanya terkait dengan sistem heterogen seperti senyawa organik, saringan molekuler, dan jenis interaktif dan isotherm Freundlich menganalisis hubungan yang menunjukkan adsorpsi terbatas dalam pembentukan multilayer (Miri & Narimo, 2022). Berikut adalah persamaan model isotherm *Freundlich* sebagai berikut :

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e$$

Dimana :

- $C_e (\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1})$  = Kapasitas adsorpsi monolayer maksimum *tetracycline* (TTC) pada Mikroplastik (MP)
- $K_f$  = Konstanta Freundlich  $(\mu\text{g/g})(\text{L}/\mu\text{g})^{1/n}$
- $1/n$  = Faktor intensitas adsorpsi.

Untuk analisis data pada Metode Freundlich digunakan jika adsorpsi terjadi secara multilayer pada permukaan heterogen dan digunakan jika grafik  $\ln(q_e)$  terhadap  $\ln(C_e)$  menghasilkan garis lurus.

#### 4) Metode Kinetics

Metode Kinetics diterapkan untuk menganalisa kesetimbangan adsorpsi zat terlarut oleh partikel plastik dalam berbagai kondisi lingkungan. Dalam persamaan 1 Model *pseudo-first-order* menunjukkan bahwa kecepatan perubahan kapasitas adsorpsi ( $q_t$ ) sebanding dengan perbedaan antara kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan ( $q_e$ ) dan kapasitas pada waktu tertentu.

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

Dimana :

- $t$  (h) = Waktu adsorpsi.
- $q_e$  = Kapasitas adsorpsi pada kesetimbangan ( $\mu\text{g/g}$ )
- $q_t$  = Kapasitas adsorpsi pada waktu  $t$  ( $\mu\text{g/g}$ )

- $k_1$  = Konstanta laju *pseudo-first-order* ( $\text{h}^{-1}$ )

Analisis data Model *pseudo-first-order* digunakan jika grafik  $\ln (q_e - q_t)$  terhadap waktu ( $t$ ) menghasilkan garis lurus dan jika nilai  $R^2$  (koefisien determinasi) mendekati 1, maka model ini sesuai untuk menjelaskan kinetika Adsorpsi.

## BAB IV

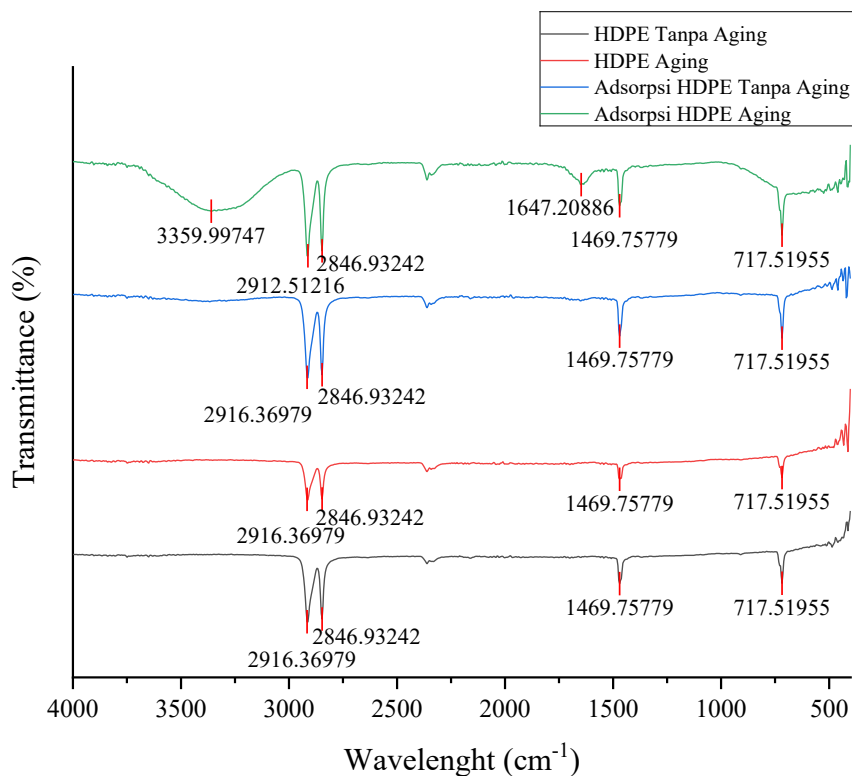
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karakterisasi Adsorben

Tujuan dari karakterisasi meliputi FTIR yang bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan mengidentifikasi senyawa melalui spektrum dan angka gelombang pada sampel mikroplastik HDPE. SEM digunakan untuk memahami sifat morfologi dari suatu adsorben yang digunakan serta memiliki kemampuan perbesaran untuk mengamati komposisi unsur pada permukaan.

##### 4.1.1 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Pada pengujian karakterisasi adsorben mikroplastik HDPE menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengidentifikasi karakteristik kimia yang ada pada mikroplastik *High Density Polyethylene* (HDPE). Grafik FTIR dapat dilihat pada **Gambar 4.1**.



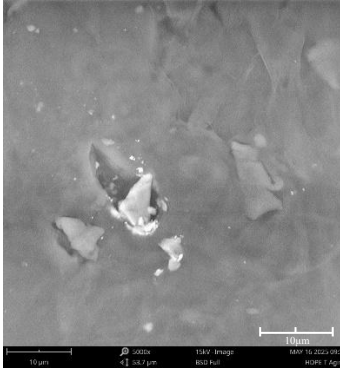
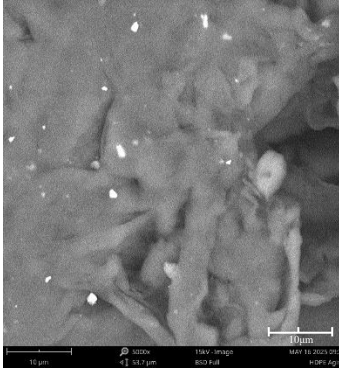
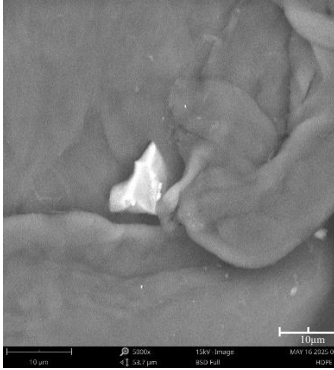
Gambar 4. 1 Grafik Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) pada Mikroplastik High Density Polyethylene (HDPE)

Berdasarkan penelitian (Zvekić et al., 2022) pada pengamatan karakterisasi FTIR mikroplastik HDPE *aging* dan tanpa *aging*, hasil yang didapat kesamaan hasil pembacaan FTIR. Dimana penelitian ini didapatkan hasil spektrum mikroplastik tanpa *aging*, *aging*, dan setelah proses adsorpsi. Pada hasil spektrum terdapat peak serapan yang sama dan hanya ada sedikit perbedaan pada hasil gambar grafik. Pada grafik **Gambar 4.1** terlihat bahwa terdapat persamaan spektrum antara mikroplastik HDPE tanpa *aging*, *aging*, dan adsorpsi *aging* terdapat peak  $717\text{ cm}^{-1}$  dan  $1469\text{ cm}^{-1}$  adanya *rocking* dan *bending* ( $\text{CH}^2$ ). Pada adsorpsi *aging* panjang gelombang  $1647\text{ cm}^{-1}$  terdapat peak baru berasal dari *Tetracycline* dengan gugus fungsi C=O atau N-H *Bending*. Pada panjang gelombang  $2912\text{ cm}^{-1}$ ,  $2916\text{ cm}^{-1}$ , dan  $2846\text{ cm}^{-1}$  terdapat C-H *stretching* rantai alkana di semua spektrum yang merupakan ciri khas utama karakteristik struktur dari HDPE. Pada adsorpsi HDPE *aging* terdapat peak baru di panjang gelombang  $3359\text{ cm}^{-1}$  yaitu O-H *stretching*, menunjukkan adanya gugus hidroksil dari proses adsorpsi *tetracycline* tersebut.

#### 4.1.2 Scanning Electron Microscopes ( SEM)

Mikroplastik *High Density Polyethylene (HDPE)* dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)* yang bertujuan untuk melihat struktur morfologi permukaan dan mengetahui komposisi kimia yang ada di dalam mikroplastik HDPE yang dihasilkan. Struktur morfologi mikroplastik *aging* kemudian dibandingkan dengan struktur morfologi mikroplastik HDPE tanpa *aging* dan dibandingkan dengan struktur morfologi mikroplastik HDPE yang telah proses adsorpsi. Gambar morfologi permukaan pada ketiga sampel dapat dilihat pada **Tabel 4.1** yang merupakan perbandingan mikroplastik tanpa *aging*, *aging*, dan setelah adsorpsi berdasarkan hasil karakterisasi SEM.

**Tabel 4. 1** Morfologi Mikroplastik HDPE Tanpa *Aging* (a), Mikroplastik HDPE *Aging* (b), dan Mikroplastik HDPE Adsorpsi (c)

Mikroplastik Tanpa <i>Aging</i> (a)	Mikroplastik <i>Aging</i> (b)	Mikroplastik HDPE Adsorpsi (c)
		

Pada hasil karakterisasi SEM **Tabel 4.1** menunjukkan bahwa terjadinya perubahan morfologi pada mikroplastik HDPE akibat proses *aging* dan proses adsorpsi. Pada mikroplastik *aging* menunjukkan bahwa permukaan yang terlihat kasar, retak, dan berpori, sedangkan mikroplastik tanpa *aging* tampak lebih terlihat halus dan utuh. Setelah terjadinya proses adsorpsi, terlihat bahwa permukaan mikroplastik ditutupi oleh partikel menandakan keberhasilan penyerapan atau adsorpsi *tetracycline*. Perubahan yang terjadi efisien peningkatan kapasitas adsorpsi akibat degradasi permukaan. Menurut penelitian (Ainali et al., 2021) mikroplastik HDPE *aging* terlihat kasar, retak, dan berpori dapat terjadi karena adanya proses *aging* yang dilakukan dengan sinar UV, sedangkan untuk mikroplastik HDPE tanpa *aging* terlihat halus dan utuh dikarenakan belum terkena paparan sinar UV, sehingga memiliki struktur yang tidak berpori dan sedikit retakan, maka terlihat halus pada pengamatan karakterisasi dengan SEM.

#### 4.2 Percobaan Uji Adsorpsi

Pada percobaan uji adsorpsi dapat dilakukan dengan tiga variasi yang digunakan yaitu variasi pH, variasi konsentrasi, dan variasi waktu.

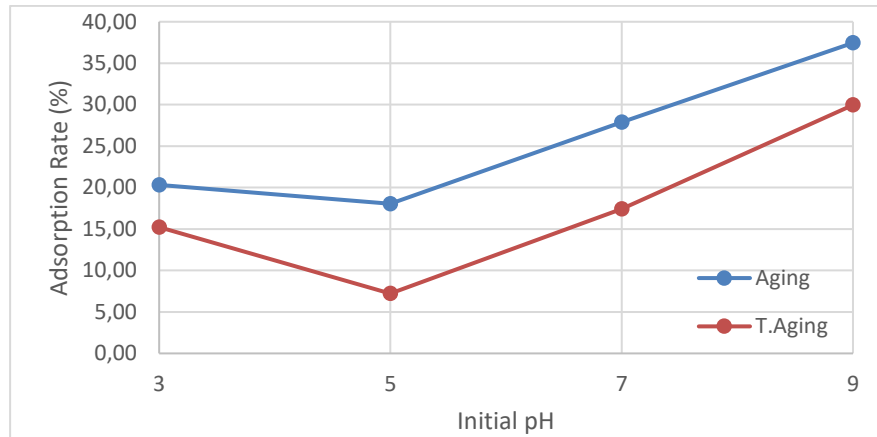
#### 4.2.1 Variasi pH

Percobaan adsorpsi melibatkan variasi pH untuk menentukan titik pH optimum untuk adsorpsi *tetracycline*. Pada penelitian (Gao et al., 2012) pengaruh pH terhadap proses adsorpsi *tetracycline* dengan mikroplastik sebagai adsorben, pada penelitian tersebut rentang pH yang digunakan yaitu 3-11. Dalam penelitian ini, nilai pH yang digunakan adalah 3, 5, 7, dan 9. Untuk mendapatkan kondisi asam, digunakan HCl 0,1 M, sedangkan NaOH 0,1 M ditambahkan untuk mencapai kondisi basa. Tingkat pH larutan awal yang terukur dengan skala pH universal adalah 6 (dalam keadaan asam). Dalam percobaan variasi pH, sebanyak 50 mg adsorben mikroplastik HDPE dimasukkan ke dalam setiap larutan dengan volume 25 ml. Proses adsorpsi dilakukan dengan mengaduk menggunakan orbital shaker selama 24 jam. Berikut hasil yang didapat dari percobaan adsorpsi variasi pH dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

**Tabel 4. 2** Uji Adsorpsi Variasi pH

	<b>% Adsorpsi</b>	<b>Kapasitas Adsorpsi (mg/g)</b>
<b>Aging</b>	20,30	0,30
	18,05	0,38
	27,87	0,61
	37,45	0,76
<b>T. Aging</b>	15,23	0,23
	7,22	0,15
	17,42	0,38
	29,96	0,61

Berdasarkan tabel data diatas, untuk mengetahui hubungan antara efisien removal (%) terhadap variasi pH dapat dilihat pada **Gambar 4.2**.



**Gambar 4. 2** Grafik Hubungan pH dengan Efisiensi Removal (%)

Pada grafik **Gambar 4.2**, hubungan antara variasi pH dan efisiensi removal (%) pada mikroplastik yang telah mengalami proses *aging* dan tanpa *aging* menunjukkan bahwa proses adsorpsi optimum terjadi pada pH 9 untuk *aging* dan tanpa *aging*. Dapat diamati bahwa semakin tinggi pH larutan, maka semakin besar persentase adsorpsi *tetracycline* yang teradsorpsi oleh mikroplastik HDPE, menunjukkan bahwa adsorpsi kondisi basa lebih efektif.

Berdasarkan penelitian (Hu et al., 2021) menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi tertinggi terjadi antara pH 7-10 pada kondisi netral hingga basa. Jika pH optimum yang dihasilkan lebih tinggi dari pH netral maka dominan sebagai anion ( $TCH^-$ ). Pada kondisi pH 9 *tetracycline* maupun mikroplastik HDPE memiliki muatan negatif, meskipun secara elektrostatis terdapat tolakan antara muatan negatif *tetracycline* dan mikroplastik HDPE (Sassman & Lee, 2005). Tetapi adsorpsi tetap dapat terjadi karena dipengaruhi oleh interaksi non elektrostatis seperti adanya interaksi hidrofobik karena sifat non polar HDPE dan *tetracycline* memiliki bagian aromatik non polar, ikatan hidrogen antara gugus polar pada HDPE yang teroksidasi, dan gaya Van der Waals (Li et al., 2018).

Hasil penelitian yang didapatkan pada variasi pH dengan kapasitas adsorpsi (mg/g) dapat dilihat bahwa mikroplastik HDPE *aging* memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar, menandakan bahwa proses *aging* meningkatkan efektivitas proses adsorpsi.

#### 4.2.2 Variasi Konsentrasi

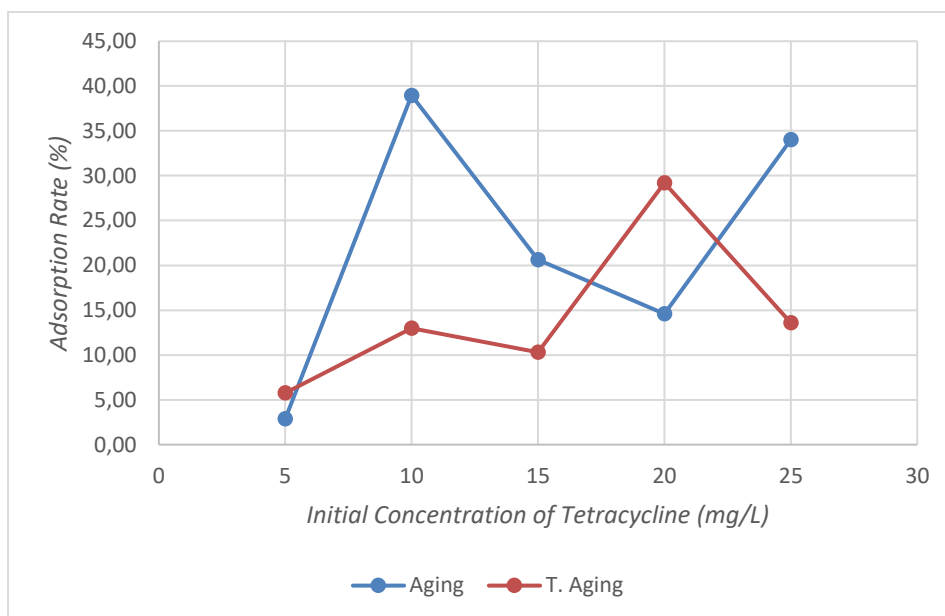
Pada penelitian yang dilakukan oleh (Chang et al., 2023) konsentrasi larutan yang digunakan berada di dalam rentang 5,98-23,79 mg/L. Namun, pada

penelitian ini digunakan variasi konsentrasi yang ditetapkan adalah 5 mg/L, 10 mg/L, 15 mg/L, 20 mg/L, dan 25 mg/L. Pemilihan konsentrasi ini karena selisihnya sama dan dapat menunjukkan pola hubungann antara konsentrasi dengan kapasitas adsorpsinya. Pada variasi konsentrasi menggunakan pH awal yang ditetapkan yaitu 6. Setiap variasi konsentrasi, ditambahkan 50 mg mikroplastik HDPE sebagai adsorben, lalu adsorben dimasukkan ke dalam larutan 25 ml. Proses adsorpsi dilakukan dengan *shaker* menggunakan *Orbital Shaker* selama 24 jam, setelah itu larutan disaring menggunakan kertas saring, dan hasil saringan tersebut kemudian diencerkan dengan perbandingan 1ml:10ml. Setelah itu larutan yang telah diencerkan dibaca menggunakan *Spektrofotometri Uv-Visible*, hasil yang di diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

**Tabel 4. 3** Uji Adsorpsi Variasi Konsentrasi

	<b>Konsentrasi (mg/L)</b>	<b>% Adsorpsi</b>	<b>Kapasitas Adsorpsi (mg/g)</b>
<b><i>Aging</i></b>	5	2,88	0,08
	10	38,96	2,27
	15	20,62	1,52
	20	14,60	1,52
	25	34,01	3,79
<b><i>T.Aging</i></b>	5	5,76	0,15
	10	12,99	0,76
	15	10,31	0,76
	20	29,20	3,03
	25	13,61	1,52

Berdasarkan data konsentrasi pada **Tabel 4.3** memahami keterkaitan antara variasi konsentrasi *tetracycline* dan proses adsorpsi, data yang telah diperoleh diolah menjadi grafik, berikut grafik yang dihasilkan pada **Gambar 4.3**.



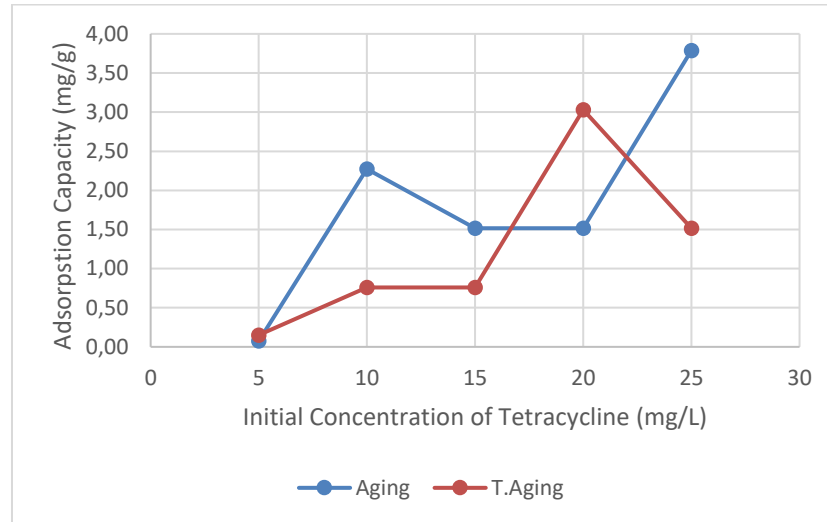
**Gambar 4. 3** Hubungan Variasi Konsentrasi dengan % Adsorpsi

Pada grafik yang menunjukkan hubungan antara perubahan konsentrasi *tetracycline* dan efisiensi removal (%) yang terdapat di **Gambar 4.3**, terlihat bahwa efisiensi removal mengalami peningkatan pada konsentrasi 10 mg/L sebesar 38,96 % untuk mikroplastik HDPE *aging*, serta pada konsentrasi 20 mg/L sebesar 29,20% untuk mikroplastik HDPE tanpa *aging*. Menunjukkan bahwa proses mikroplastik *aging* dapat meningkatkan kemampuan mikroplastik dalam mengadsorpsi *tetracycline*, dapat disebabkan oleh perubahan sifat permukaan seperti peningkatan permukaan baru selama proses *aging*.

Berdasarkan penelitian (Zhu et al., 2018) dengan adanya konsentrasi *tetracycline* tinggi dapat meningkatkan kembali kapasitas adsorpsi, hal ini dikarenakan konsentrasi yang tinggi dapat membentuk lapisan baru pada adsorben yang telah jenuh, sehingga pada penelitian ini hasil didapatkan pada konsentrasi 25 mg/L kembali terjadi peningkatan.

Adapun pada grafik **Gambar 4.4** menjelaskan bahwa kapasitas adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik HDPE, pada penelitian (Nguyen et al., 2021) menjelaskan tidak memiliki konsentrasi optimum yang dicapai, tetapi dapat meningkat dengan peningkatan konsentrasi awal *tetracycline* dengan mengikuti model *Langmuir*. Berdasarkan **Tabel 4.3** data perhitungan yang dihasilkan, hal ini terlihat pada grafik hubungan konsentrasi dengan kapasitas adsorpsi yang ada di **Gambar 4.4**. Kondisi optimum pada kapasitas adsorpsi yang terjadi berada di

konsentrasi 25 mg/L sebesar 3,79 mg/g untuk *aging* dan konsentrasi 20 mg/L tanpa *aging* sebesar 3,03 mg/g.



**Gambar 4. 4** Hubungan Variasi Konsentrasi dengan Kapasitas Adsorpsi

#### 4.2.3 Variasi Waktu

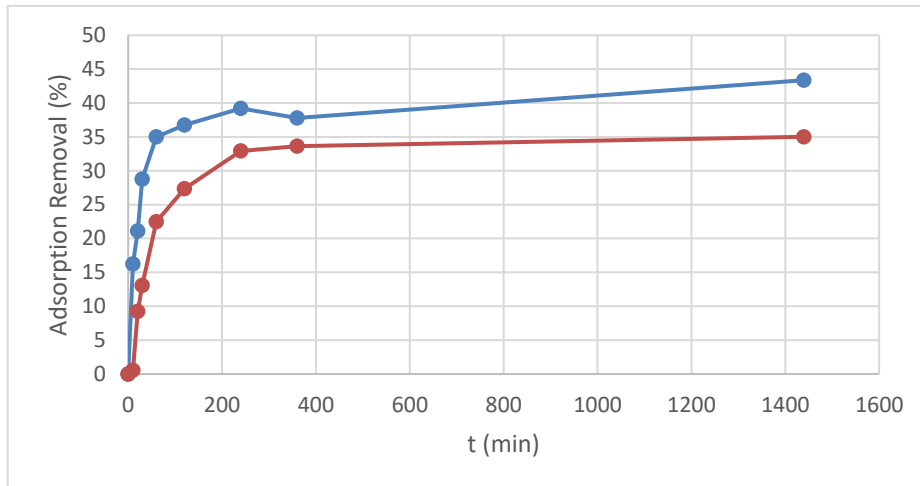
Pada penelitian yang dilakukan oleh (Hou et al., 2023) variasi waktu yang digunakan dalam rentang 1440-3000 menit pada percobaan variasi waktu adsorpsi, dilakukan untuk menentukan durasi yang optimal dalam proses adsorpsi. Pada percobaan ini, digunakan larutan *tetracycline* dengan konsentrasi 5 mg/L sebanyak 25 mL untuk setiap variasi waktu. Variasi waktu yang diterapkan adalah 10, 20, 30, 60, 120, 240, 360, dan 1440 menit. Setiap variasi waktu memiliki tambahan massa adsorben sebanyak 50 mg. Proses adsorpsi dilakukan dengan metode pengadukan menggunakan *Orbital Shaker* selama 24 jam, lalu dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring dan hasil penyaringan larutan tersebut dibaca menggunakan *Spektrofotometri Uv-Visible*.

**Tabel 4. 4** Uji Adsorpsi Variasi Waktu

Waktu (menit)	% Adsorpsi	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
------------------	---------------	---------------------------------

<b>Aging</b>	10	16,22	0,43
	20	21,08	0,55
	30	28,75	0,76
	60	35,02	0,92
	120	36,75	0,97
	240	39,20	1,03
	360	37,79	0,99
	1440	43,37	1,14
<b>T. Aging</b>	10	0,55	0,01
	20	9,24	0,24
	30	13,08	0,34
	60	22,47	0,59
	120	27,36	0,72
	240	32,93	0,87
	360	33,61	0,88
	1440	35,01	0,87

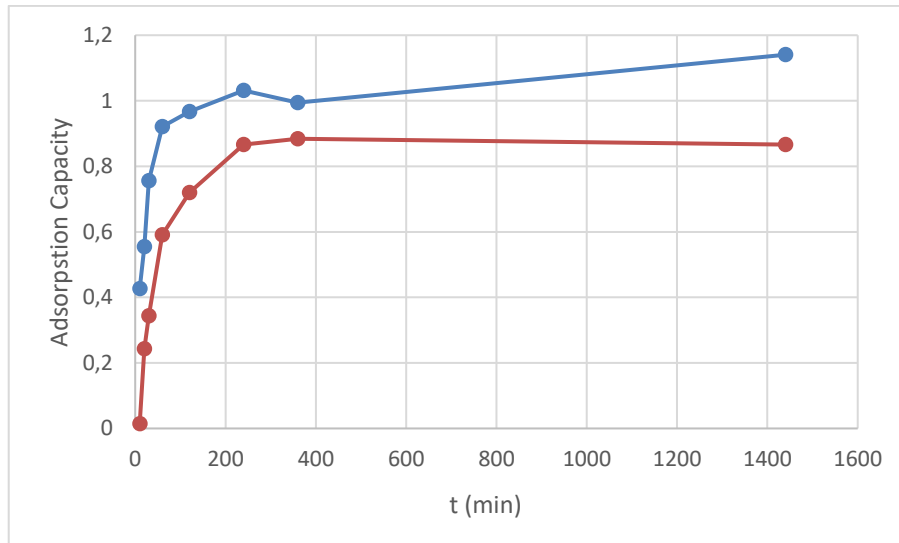
Berdasarkan penelitian (Nguyen et al., 2021) menjelaskan bahwa adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik HDPE memiliki kapasitas adsorpsi meningkat seiring waktu kontak hingga ke titik jenuh, bahwa waktu kontak berperan penting dalam efisiensi adsorpsi dan kapasitas adsorpsi. Berdasarkan data percobaan hasil adsorpsi *tetracycline* pada **Tabel 4.4**. Kemudian dimasukkan kedalam grafik untuk mengetahui hubungan antara efisiensi removal (%) dengan waktu kontak pengadukan yang terdapat pada **Gambar 4.5**.



**Gambar 4. 5** Hubungan Variasi Waktu Kontak dengan Efisiensi Removal (%)

Berdasarkan data dari grafik yang menunjukkan hubungan waktu kontak dengan efisiensi removal (%) di **Gambar 4.5** terlihat adanya peningkatan pada setiap variasi durasi waktu kontak, baik untuk mikroplastik tanpa aging dan mikroplastik aging. Berdasarkan **Tabel 4.4** efisiensi adsorpsi optimum tercapai pada proses aging sebesar 43,36% pada durasi 1440 menit.

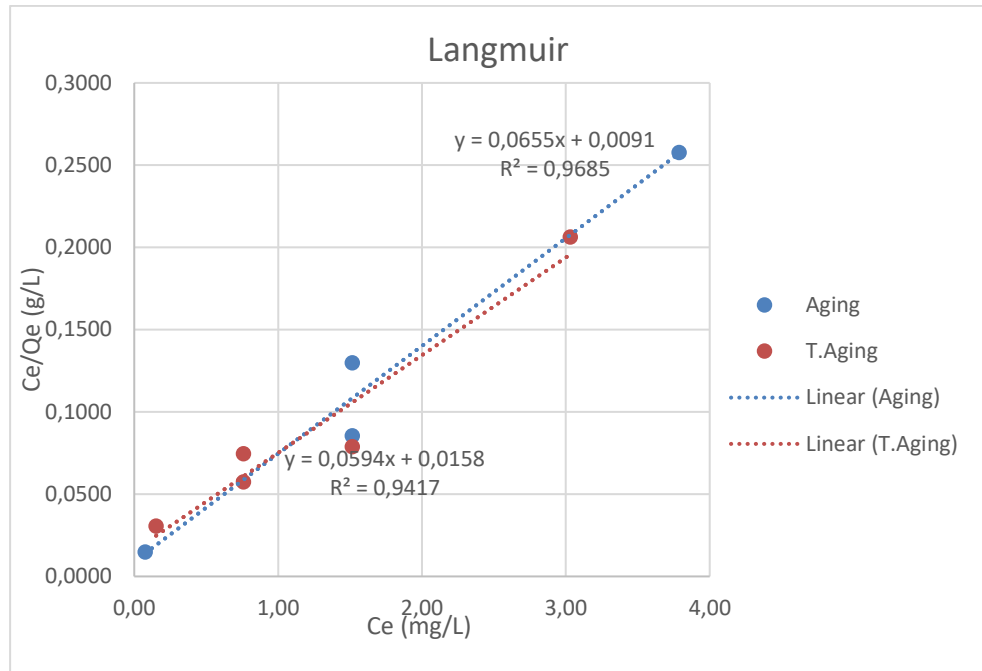
Sedangkan mengenai hubungan waktu kontak adsorpsi dengan kapasitas adsorpsi berdasarkan data yang diperoleh dari **Tabel 4.4**, didapat grafik seperti pada **Gambar 4.5** dimana dapat dilihat bahwa kemampuan adsorpsi *tetracycline* oleh mikroplastik HDPE, proses *aging* maupun yang tanpa *aging* mengalami kenaikan setiap variasi waktu, kapasitas adsorpsi yang dihasilkan untuk proses *aging* berada di waktu 1440 menit sebesar 1,14 mg/g. Mikroplastik yang telah mengalami proses *aging* menunjukkan adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan yang tanpa *aging*, dengan hasil yang terus meningkat secara perlahan hingga hampir mencapai titik keseimbangan setelah sekitar 1440 menit. Sementara itu, mikroplastik tanpa *aging* menunjukkan grafik yang lebih cepat mencapai titik keseimbangan dan cenderung datar setelah 240 menit, yang menunjukkan bahwa adsorpsi sudah terbatas sejak awal. Hasil grafik dapat dilihat pada **Gambar 4.6**.



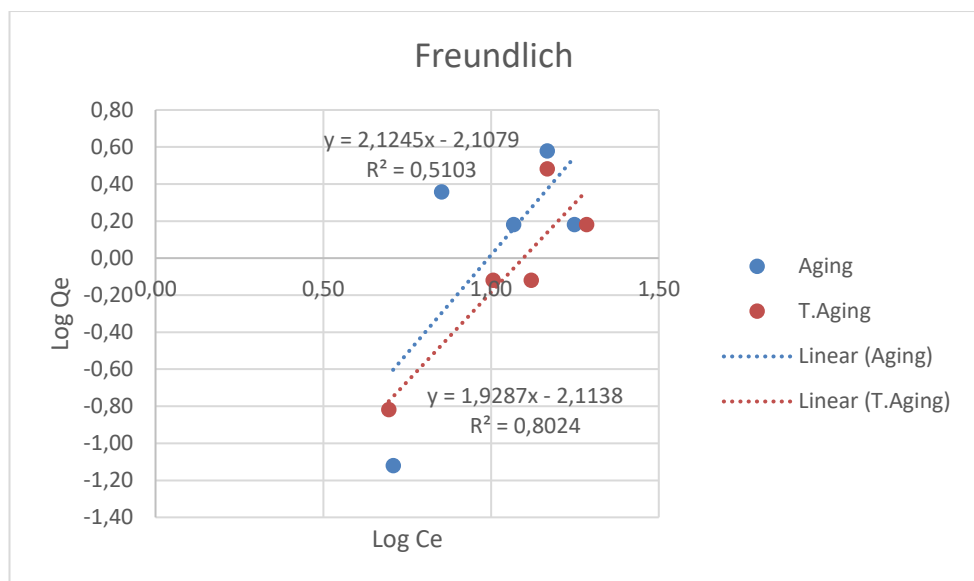
**Gambar 4. 6** Hubungan Variasi Waktu Kontak dengan Kapasitas Adsorpsi

### 4.3 Isotherm Adsorpsi

Isotherm adsorpsi merupakan pemodelan atau kurva yang menggambarkan hubungan antara jumlah zat teradsorpsi oleh adsorben dengan konsentrasi zat terlarut pada kondisi suhu tetap (Foo & Hameed, 2010). Pada pendekatan isotherm adsorpsi, terdapat dua persamaan utama, yaitu Isotherm *Langmuir* dan *Freundlich*, yang sering digunakan dalam proses adsorpsi. Model isotherm yang menggambarkan interaksi mikroplastik HDPE dengan antibiotik *tetracycline* dapat dianalisis dengan regresi linear sesuai dengan tipe Isotherm Adsorpsi *Langmuir* yaitu tipe 4, yang menghubungkan kapasitas adsorpsi ( $Q_e$ ) dengan jumlah zat yang terjerap pada setiap unit adsorben per konsentrasi adsorbat ( $Q_e/C_e$ ). Sementara itu, untuk isotherm *Freundlich*, cara yang digunakan adalah dengan memplot ( $\ln C_e$ ) dan ( $\ln Q_e$ ) sehingga diperoleh persamaan garis lurus serta nilai regresi linear. Maka didapat grafik Isotherm *Langmuir* dan *Freundlich* pada **Gambar 4.7** dan **Gambar 4.8**.



**Gambar 4. 7** Grafik Isotherm Langmuir



**Gambar 4. 8** Grafik Isotherm Freundlich

Menurut (Lestari et al., 2023) nilai  $k_L$  (L/mg) merupakan konstanta *Langmuir* yang berkaitan dengan kapasitas adsorpsi (L/mg), untuk  $Q_m$  merupakan kapasitas maksimum yang terserap (mg/g), sedangkan untuk  $k_F$  merupakan kapasitas adsorben (mg/g). Untuk nilai  $n$  pada isotherm *Freundlich* jika nilai  $n$  tidak lebih dari 1 maka proses adsorpsi dinyatakan cukup bagus (Yang et al., 2013).

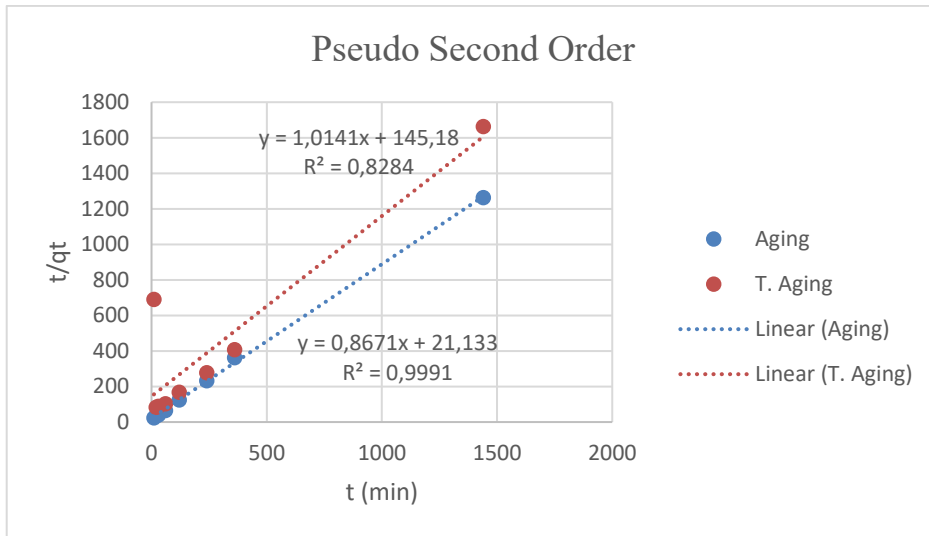
Berdasarkan dari **Gambar 4.7** grafik yang diperoleh untuk nilai R2 untuk Isotherm *Langmuir* menunjukkan bahwa mikroplastik *aging* yang dihasilkan mendekati 1 yaitu 0,9685. Pada **Gambar 4.8** untuk Isotherm *Freundlich*, nilai R2 untuk mikroplastik *aging* adalah 0,5103 dan untuk mikroplastik tanpa *aging* adalah 0,8024. Untuk nilai n pada isotherm *Freundlich* jika nilai n tidak lebih dari 1 maka proses adsorpsi dinyatakan cukup bagus (Yang et al., 2013). Pada **Tabel 4.5** terlihat bahwa konstanta *Langmuir* (kL) (L/mg) yang didapatkan pada proses *aging* sebesar 0,07 L/mg. Sedangkan, nilai Kf yang didapatkan pada proses *aging* yaitu 128,20 mg/g dan untuk proses tanpa *aging* didapatkan 129,96. Pada hasil grafik **Gambar 4.7** dan **Gambar 4.8** maka didapatkan hasil pemodelan perhitungan isotherm adsorpsi mikroplastik HDPE *aging* dan tanpa *aging* dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

**Tabel 4. 5** Pemodelan Isotherm Adsorpsi Mikroplastik HDPE *Aging* dan Tanpa *Aging*

	Isotherm Langmuir					Isotherm Freundlich				
	Slope	Intersep	R2	Qm (mg/g)	KL (L/mg)	slope	intersep	R2	Kf (mg/g)	N
<i>Aging</i>	0,0655	0,0091	0,9685	0,14	0,07	2,2145	2,1079	0,5103	128,20	0,45
<i>T.Aging</i>	0,0594	0,0158	0,9417	0,27	0,06	1,9287	2,1138	0,8024	129,96	0,52

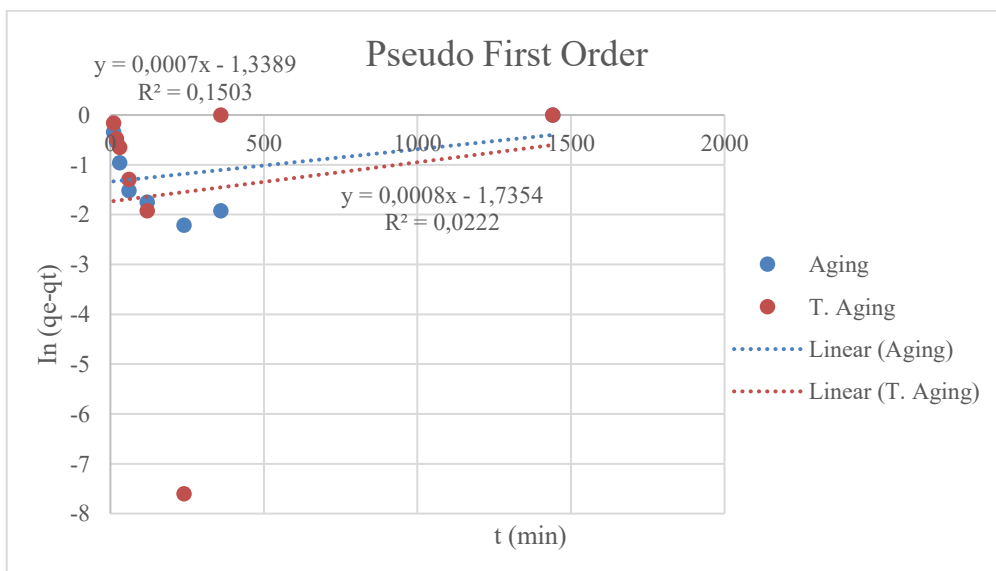
#### 4.4 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi menggambarkan proses penyerapan suatu zat (adsorbat) oleh permukaan adsorben sebagai fungsi terhadap waktu. Kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat dapat dianalisis melalui kecepatan proses adsorpsinya. Jika nilai kinetika adsorpsi besar maka interaksi terjadi lebih cepat (Ho & Mckay, 1999). Kecepatan ini dapat ditentukan berdasarkan nilai konstanta laju adsorpsi (*k*) serta orde reaksi yang diperoleh dari penerapan model kinetika adsorpsi tertentu. Model kinetika reaksi orde 1 dan orde 2 masing-masing dihitung  $\ln C_e$  terhadap waktu (*t*) dan  $(t/qt)$  terhadap waktu (*t*). Model kinetika yang paling sesuai dengan hasil penelitian adalah yang menunjukkan nilai R2 tertinggi. Berikut hasil grafik yang didapatkan pada persamaan kinetika adsorpsi yaitu *Pseudo Second Order*, dapat dilihat pada **Gambar 4.9**.



**Gambar 4. 9** Grafik Kinetika Adsorpsi *Pseudo Second Order*

Berdasarkan grafik model kinetika adsorpsi dari *Pseudo Second Order*, terlihat adanya korelasi linear antara waktu ( $t$ ) dan rasio untuk mikroplastik HDPE yang telah mengalami proses *aging* dan yang tanpa *aging*. Nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) menunjukkan perbedaan yang jelas antara kedua perlakuan. Mikroplastik yang telah *aging* memperoleh nilai  $R^2$  sebesar 0,9991, yang menunjukkan kesesuaian yang sangat baik dengan model *Pseudo Second Order*, sementara mikroplastik yang tidak mengalami *aging* nilai  $R^2$  sebesar 0,8284, hasil yang diperoleh lebih rendah dengan model dibandingkan  $R^2$  *aging*.



**Gambar 4. 10** Grafik Kinetika Adsorpsi *Pseudo First Order*

Berdasarkan **Gambar 4.10** grafik *Pseudo First Order* diatas menunjukkan bahwa nilai  $R^2$  tertinggi terjadi pada proses *aging* sebesar 0,1503 dan untuk mikroplastik tanpa *aging* nilai  $R^2$  yang dihasilkan sangat rendah pada nilai 0,0222. Berdasarkan **Tabel 4.6**  $K_1$  ( $\text{min}^{-1}$ ) dan  $K_2$  ( $\text{g/mg}/\text{min}$ ) merupakan konstanta laju adsorpsi. Untuk nilai  $K_1$  yang didapatkan pada proses *aging* dan tanpa *aging* dengan nilai 0,001  $\text{min}^{-1}$ . Sedangkan untuk  $K_2$  *aging* yang didapatkan dengan nilai 0,049  $\text{g/mg}\cdot\text{min}$  dan tanpa *aging* senilai 0,005  $\text{g/mg}\cdot\text{min}$ . Dalam pemodelan kinetika adsorpsi, pendekatan yang digunakan adalah model *Pseudo Second Order* karena nilai  $K_2$  yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan nilai  $K_1$ . Pada hasil data **Tabel 4.6** menunjukkan untuk perhitungan pemodelan menggunakan persamaan *Pseudo First Order* hasil yang didapat lebih rendah dibandingkan hasil *Pseudo Second Order*.

**Tabel 4. 6** Pemodelan Kinetika Adsorpsi

	Pseudo First Order			Pseudo Second Order		
	$R^2$	$Q_e$	$K_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$R^2$	$Q_e$	$K_2$ ( $\text{g/mg}\cdot\text{min}$ )
<i>Aging</i>	0,0153	3,815	0,001	0,999	0,986	0,049
<b>T.</b> <i>Aging</i>	0,0222	5,671	0,001	0,828	1,153	0,005

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang dihasilkan pada penelitian adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik *High Density Polyethylene* (HDPE) :

- Kondisi optimum pada proses adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik HDPE proses *aging* terjadi pH 9 dengan efisiensi adsorpsi 37,45% dan kapasitas adsorpsi 0,76 mg/g. Pada konsentrasi, nilai optimum diperoleh konsentrasi 10 mg/L dengan efisiensi adsorpsi sebesar 38,96% dan kapasitas adsorpsi 3,37 mg/g. Untuk waktu optimum pada 24 jam dengan efisiensi adsorpsi sebesar 43,37% dan kapasitas adsorpsi sebesar 1,14 mg/g.
- Model isotherm *Langmuir* paling sesuai untuk mikroplastik *aging* dengan nilai  $KL$  (L/mg) = 0,07 L/mg, sedangkan kinetika adsorpsi HDPE *aging* paling sesuai menggunakan model *Pseudo Second Order* dengan nilai  $K_2$  (g.mg/min) = 0,049 g.mg/min.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran untuk penelitian adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik *High Density Polyethylene* (HDPE) , antara lain yaitu :

1. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan proses *aging* lebih dari 4 hari guna mengetahui perbedaan karakteristik permukaan mikroplastik HDPE yang dihasilkan, dan pengaruh terhadap kapasitas adsorpsi senyawa *tetracycline*.
2. Disarankan melakukan proses adsorpsi dengan menggunakan antibiotik yang berbeda.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ainali, N. M., Bikiaris, D. N., & Lambropoulou, D. A. (2021). Aging effects on low and high density polyethylene, polypropylene and polystyrene under UV irradiation: An insight into decomposition mechanism by Py-GC/MS for microplastic analysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105207>
- Anbarani, Z. M., Najafpoor, A., Barikbin, B., & Bonyadi, Z. (2023). Adsorption of tetracycline on polyvinyl chloride microplastics in aqueous environments. In *Scientific Reports* (Vol. 13, Issue 1). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44288-z>
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(8), 1596–1605. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
- Andriansyah, I., Nur Mukhlis Wijaya, H., & Purwaniati. (2021). Analisis Adulteran Pada Kopi Luwak dengan Metode Fourier Transform Infrared (FTIR). *Jurnal Kimia Riset*, 6(1).
- Ayuningtyas, W. C., Yona, D., Julinda, S. H., & Iranwati, F. (2019). *Kelimpahan Mikroplastik Pada Perairan Di Banyuwirip, Kelimpahan Mikroplastik Pada Perairan Di Banyuwirip, Gresik, Jawa Timur*.
- Bansal, O. P. (2013). Green remediation of tetracyclines in soil-water systems. *Health*, 05(12), 2039–2044. <https://doi.org/10.4236/health.2013.512276>
- Budiman, S., Suryaputra, D., & Ristianti, D. (2014). *Fotodegradasi Zat Warna Tekstil dengan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*. <https://www.researchgate.net/publication/321826132>
- Chang, D., Mao, Y., Qiu, W., Wu, Y., & Cai, B. (2023). The Source and Distribution of Tetracycline Antibiotics in China: A Review. In *Toxics* (Vol. 11, Issue 3). MDPI. <https://doi.org/10.3390/toxics11030214>
- Chen, Y., Li, J., Wang, F., Yang, H., & Liu, L. (2021). Adsorption of tetracyclines onto polyethylene microplastics: A combined study of experiment and molecular dynamics simulation. *Chemosphere*, 265. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129133>
- Chopra, I., & Roberts, M. (2001). Tetracycline Antibiotics: Mode of Action, Applications, Molecular Biology, and Epidemiology of Bacterial Resistance. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 65(2), 232–260. <https://doi.org/10.1128/mnbr.65.2.232-260.2001>
- Choudhary, O. P., & Priyanka. (2017). Scanning Electron Microscope: Advantages and Disadvantages in Imaging Components. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(5), 1877–1882. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.605.207>
- Connell, S. R., Tracz, D. M., Nierhaus, K. H., & Taylor, D. E. (2003). Ribosomal Protection Proteins and Their Mechanism of Tetracycline Resistance. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 47(12), 3675–3681. <https://doi.org/10.1128/AAC.47.12.3675-3681.2003>
- Dewi, N. M. N. B. S. (2022). Studi Literatur Dampak Mikroplastik Terhadap Lingkungan. *Jurnal Sosial Sains Dan Teknologi SOSINTEK*, 2, No 2, 2390–250. <http://journal.unmasmataram.ac.id/index.php/SOSINTEK>

- Eriksen, M., Lebreton, L. C. M., Carson, H. S., Thiel, M., Moore, C. J., Borerro, J. C., Galgani, F., Ryan, P. G., & Reisser, J. (2014). Plastic Pollution in the World's Oceans: More than 5 Trillion Plastic Pieces Weighing over 250,000 Tons Afloat at Sea. *PLoS ONE*, 9(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111913>
- Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2010). Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. In *Chemical Engineering Journal* (Vol. 156, Issue 1, pp. 2–10). <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.09.013>
- Gao, P., Ju, C., Tang, Z., & Qin, Y. (2022). Enhanced adsorption of tetracycline on polypropylene and polyethylene microplastics after anaerobically microbial-mediated aging process. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100075>
- Gao, Y., Li, Y., Zhang, L., Huang, H., Hu, J., Shah, S. M., & Su, X. (2012). Adsorption and removal of tetracycline antibiotics from aqueous solution by graphene oxide. *Journal of Colloid and Interface Science*, 368(1), 540–546. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.11.015>
- Gewert, B., Plassmann, M. M., & Macleod, M. (2015). Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. In *Environmental Sciences: Processes and Impacts* (Vol. 17, Issue 9, pp. 1513–1521). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c5em00207a>
- Gopal, G., Alex, S. A., Chandrasekaran, N., & Mukherjee, A. (2020). A review on tetracycline removal from aqueous systems by advanced treatment techniques. In *RSC Advances* (Vol. 10, Issue 45, pp. 27081–27095). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d0ra04264a>
- Guo, X., Liu, Y., & Wang, J. (2019). Sorption of sulfamethazine onto different types of microplastics: A combined experimental and molecular dynamics simulation study. *Marine Pollution Bulletin*, 145, 547–554. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.063>
- Hafitri, M., Untung Kurnia A, Moch., Permata, L., & MS, Y. (2022). Analisis Jenis Mikroplastik pada Sedimen Dasar Perairan Pulau Untung Jawa, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta. *Jurnal Indonesia Sosial Sains*, 3(3), 443–454. <https://doi.org/10.36418/jiss.v3i3.551>
- Hernandez, E., Nowack, B., & Mitrano, D. M. (2017). Synthetic Textiles as a Source of Microplastics from Households: A Mechanistic Study to Understand Microfiber Release During Washing. In *Environ. Sci. Technol.*, *Just Accepted Manuscript • Publication Date* (Web. <http://pubs.acs.org>)
- Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. In *Process Biochemistry* (Vol. 34).
- Hoenen, T., Safronetz, D., Groseth, A., Wollenberg, K. R., Koita, O. A., Diarra, B., Fall, I. S., Haidara, F. C., Diallo, F., Sanogo, M., Sarro, Y. S., Kone, A., Togo, A. C. G., Traore, A., Kodio, M., Dosseh, A., Rosenke, K., De Wit, E., Feldmann, F., ... Sow, S. (2015). Mutation rate and genotype variation of Ebola virus from Mali case sequences. *Science*, 348(6230), 117–119. <https://doi.org/10.1126/science.aaa5646>
- Holzel, C. S., Harms, K. S., Kuchenhoff, H., Kunz, A., Muller, C., Meyer, K., Schwaiger, K., & Bauer, J. (2010). Phenotypic and genotypic bacterial antimicrobial resistance in liquid pig manure is variously associated with

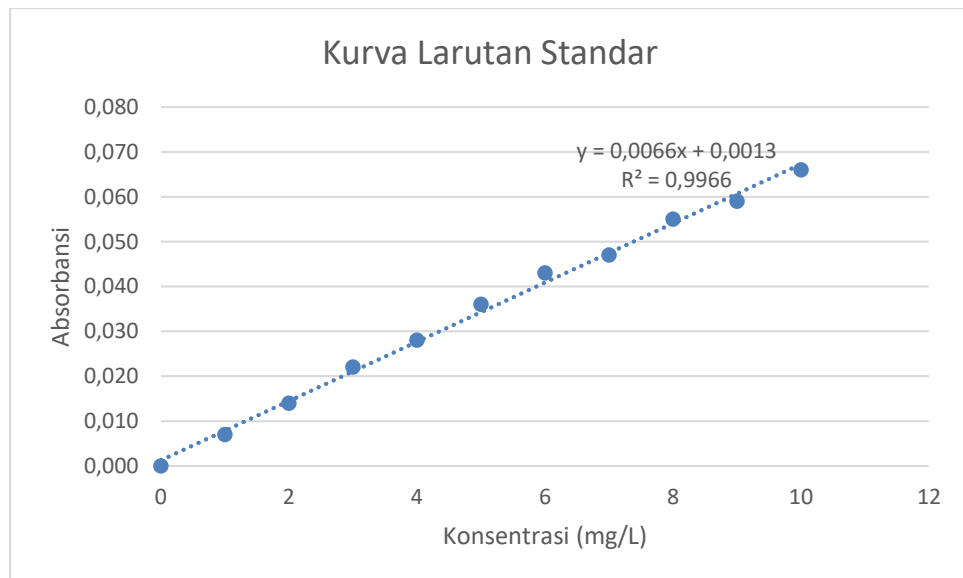
- contents of tetracyclines and sulfonamides. *Journal of Applied Microbiology*, 108(5), 1642–1656. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04570.x>
- Hou, H., Xu, G., He, F., & Pan, H. (2023). Effects of Aging on Adsorption of Tetracycline Hydrochloride by Humin. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph20042901>
- Hu, E., Yuan, H., Du, Y., & Chen, X. (2021). LDPE and HDPE microplastics differently affect the transport of tetracycline in saturated porous media. *Materials*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/ma14071757>
- Huang, Y., Ding, J., Zhang, G., Liu, S., Zou, H., Wang, Z., Zhu, W., & Geng, J. (2021). Interactive effects of microplastics and selected pharmaceuticals on red tilapia: Role of microplastic aging. *Science of the Total Environment*, 752. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142256>
- Jamika, I. F., Razak, A., & Kamal, E. (2023). Dampak Pencemaran Mikroplastik Di Wilayah Pesisir Dan Kelautan. *Pasir Laut*, 7, 1–5.
- Kanak, K., Ahmed, M. K., Islam, M. S., Hasan, M., Chowdhury, K. M. A., & Hossain, K. B. (2024). Microplastic pollution along the coastal island shorelines of Bangladesh: Distribution, patterns, and abundance. *Heliyon*, 10(23). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40723>
- Karachi, N., Motahari, S., & Nazarian, S. (2021). Working for the betterment of simultaneous deletion of paraben dyes from industrial effluents on to *Origanum majorana*-capped silver nanoparticles. *Desalination and Water Treatment*, 228, 389–402. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27320>
- Khoironi, A., Huda, K., Hambyah, I., & Dianratri, I. (2021). Pengaruh Mikroplastik Polietilen dan Oxo-degradable (Oxium) Pada Pertumbuhan Mikroalga *Tetraselmis chuii*. *Journal Ilmu Lingkungan*, 19, 211–218.
- Kim, I., & Tanaka, H. (2009). Photodegradation characteristics of PPCPs in water with UV treatment. *Environment International*, 35(5), 793–802. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.01.003>
- Lestari, I., Ristiningsih, Y., Istiani, A., & Tiara Anastasia, T. (2023). Studi Isoterm Adsorpsi dan Termodinamika Pada Proses Penyisihan Ion Fe (III) Menggunakan Pektin dari Kulit Pisang. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 104.
- Li, J., Zhang, K., & Zhang, H. (2018). Adsorption of antibiotics on microplastics. *Environmental Pollution*, 237, 460–467. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.050>
- Miri, N. S. S., & Narimo. (2022). Volume 2. Nomor 2. Tahun 2022 *JURNAL KIMIA DAN REKAYASA Review: Kajian Persamaan Isoterm Langmuir dan Freundlich pada Adsorpsi Logam Berat Fe (II) dengan Zeolit dan Karbon Aktif dari Biomassa Review: Equation Study of Langmuir and Freundlich Isotherms on Adsorption of Heavy Metal Fe (II) with Zeolite and Activated Carbon from Biomass*. <http://kireka.setiabudi.ac.id>
- Newrick, B. A., Valdés, D., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2025). Enhanced biodegradation of high-density polyethylene microplastics: Study of bacterial efficiency and process parameters. *Journal of Hazardous Materials*, 485. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.136822>
- Nguyen, T. B., Ho, T. B. C., Huang, C. P., Chen, C. W., Hsieh, S. L., Tsai, W. P., & Dong, C. Di. (2021). Adsorption characteristics of tetracycline onto

- particulate polyethylene in dilute aqueous solutions. *Environmental Pollution*, 285. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117398>
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2021 Tentang Pedoman Penggunaan Antibiotik (2021).
- Pourebrahimi, S., & Pirooz, M. (2023). Microplastic pollution in the marine environment: A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100327>
- Purwitasari, G. D., Tussania, R., & Fathoni, R. (2022). Adsorpsi Logam Kadmium (Cd) pada Kadmium Sulfat (Cdso<sub>4</sub>) menggunakan Batang Pohon Pisang Sebagai Adsorben. *Jurnal Chemurgy*, 06(1), 131–136. <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK>
- Rahayu, D. P., & Nurhayati, E. (2023). Pemanfaatan Activated Spent Bleaching Earth sebagai Adsorben untuk Menyisihkan Rhodamine-B: Studi Adsorpsi Secara Batch. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 15, 91–97. <http://envirotek.upnjatim.ac.id/>
- Ramachanderan, R., & Schaefer, B. (2021). Tetracycline antibiotics. *ChemTexts*, 7(3). <https://doi.org/10.1007/s40828-021-00138-x>
- Rizzo, L., Mania, C., Merlin, C., Schwartz, T., Dagot, C., Ploy, M. C., Michael, I., & Fatta-Kassinos, D. (2013). Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic resistant bacteria and genes spread into the environment: A review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 447, pp. 345–360). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.032>
- Sandra, S. W., & Radityaningrum, A. D. (2021). Kajian Kelimpahan Mikroplastik di Biota Perairan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 19(3), 638–648. <https://doi.org/10.14710/jil.19.3.638-648>
- Saputro, W. E. M., Sekarningrum, S. P., & Wahyusi, K. N. (2023). Efektivitas Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dengan Karbon Aktif dari Kulit Pisang Kepok Teraktivasi Cacl<sub>2</sub> terhadap Konsentrasi Larutan Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. *Inovasi Teknik Kimia*, 8(4), 255–260.
- Sarmah, A. K., Meyer, M. T., & Boxall, A. B. A. (2006). A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment. In *Chemosphere* (Vol. 65, Issue 5, pp. 725–759). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.03.026>
- Sassman, S. A., & Lee, L. S. (2005). Sorption of three tetracyclines by several soils: Assessing the role of pH and cation exchange. *Environmental Science and Technology*, 39(19), 7452–7459. <https://doi.org/10.1021/es0480217>
- Subamia, I. D. P., Widiasih, N. N., Wahyuni, I. G. A. N. S., & Kristiyanti, P. L. P. (2023). Optimasi Kinerja Alat Fourier Transform Infrared (FTIR) Melalui Studi Perbandingan Komposisi dan Ketebalan Sampel-KBr. In *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan* (Vol. 5, Issue 2).
- Suhardi, H. R. P., Ambarita, Y. E., Afifudin, A. F. M., Muzaki, F. K., & Irawato, R. (2024). *Identifikasi Cemaran Mikroplastik di Kolam Kebun Raya Purwodadi Pasuruan*. <https://ecotonjournal.id/index.php/epj>
- Sulistiyani, M., Kusumastuti, E., Huda, N., & Mukhayani, F. (2021). Method Validation on Functional Groups Analysis of Geopolymer with Polyvinyl Chloride (PVC) as Additive Using Fourier Transform Infrared (FT-IR). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 10(3). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>

- Wang, C., & Jian, J.-J. (2015). Degradation and Detoxicity of Tetracycline by an Enhanced Sonolysis. *Journal of Water and Environment Technology*, 13(4), 325–334. <https://doi.org/10.2965/jwet.2015.325>
- Wang, Q., Zhang, Y., Wangjin, X., Wang, Y., Meng, G., & Chen, Y. (2020). The adsorption behavior of metals in aqueous solution by microplastics effected by UV radiation. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 87, 272–280. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.07.006>
- Widianarko, B., & Hantoro, I. (2018). *Mikroplastik dalam Seafood dari Pantai Utara Jawa*. [www.unika.ac.id](http://www.unika.ac.id)
- Wijayanti, A., Susatyo, E. B., Kurniawan, C., & Sukarjo, D. (2018). Indonesian Journal of Chemical Science Adsorpsi Logam Cr(VI) dan Cu(II) pada Tanah dan Pengaruh Penambahan Pupuk Organik. In *J. Chem. Sci* (Vol. 7, Issue 3). <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- Wijayanti, D. A., Susanto, C. A. Z., Chandra, A., & Zainuri, M. (2021). Identifikasi Mikroplastik pada Sedimen dan Bivalvia Sungai Brantas Identification of Microplastics in Sediments and Bivalves Brantas River. *Environmental Pollution Journal*, 1, 101–109. <https://journalecoton.id/index.php/epj>
- Xu, B., Liu, F., Brookes, P. C., & Xu, J. (2018). Microplastics play a minor role in tetracycline sorption in the presence of dissolved organic matter. *Environmental Pollution*, 240, 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.113>
- Xu, L., Zhang, H., Xiong, P., Zhu, Q., Liao, C., & Jiang, G. (2021). Occurrence, fate, and risk assessment of typical tetracycline antibiotics in the aquatic environment: A review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 753). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141975>
- Yang, S., Zhao, Y., Chen, R., Feng, C., Zhang, Z., Lei, Z., & Yang, Y. (2013). A novel tablet porous material developed as adsorbent for phosphate removal and recycling. *Journal of Colloid and Interface Science*, 396, 197–204. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2012.12.077>
- Yuanita, M., Reni Yenti, S., Jurusan Teknik Kimia, M., & Jurusan Teknik Kimia, D. (2016). Kesetimbangan Adsorpsi Logam Fe (Ii) menggunakan Karbon Aktif dari Ampas Tebu sebagai Adsorben. In *JOM FTEKNIK* (Vol. 3, Issue 1).
- Zhu, H., Chen, T., Liu, J., & Li, D. (2018). Adsorption of tetracycline antibiotics from an aqueous solution onto graphene oxide/calcium alginate composite fibers. *RSC Advances*, 8(5), 2616–2621. <https://doi.org/10.1039/c7ra11964j>
- Zulfania, F., Fathoni, an, & Moh Nur, A. (2022). Kemampuan Adsorpsi Logam Berat Zn dengan menggunakan Adsorben Kulit Jagung (*Zea Mays*). *Jurnal Chemurgy*, 6(2), 65–69. <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK>
- Zvekcic, M., Richards, L. C., Tong, C. C., & Krogh, E. T. (2022). Characterizing photochemical ageing processes of microplastic materials using multivariate analysis of infrared spectra. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 24(1), 52–61. <https://doi.org/10.1039/D1EM00392E>

## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Kurva Larutan Standar



### Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian







## RIWAYAT HIDUP



**MIRANDA TALITHA SAWITRI**, lahir di Jakarta, 26 Juni 2003. Anak kedua dari dua bersaudara ini putri kandung dari Bapak Tri Joko Witanto dan Almh. Ibu Darwanti Utamisari. Berikut riwayat pendidikan terakhir penulis :

Tahun 2009 - 2015 : SD Negeri 03 Kebalen.

Tahun 2015 - 2018 : SMP Negeri 1 Babelan.

Tahun 2018 - 2021 : SMA Negeri 2 Babelan

Tahun 2021 - 2025 : Penulis terdaftar sebagai mahasiswi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Penulis mengikuti kegiatan kepanitaan yang diselenggarakan oleh Program Studi Teknik Lingkungan. Tidak hanya itu, penulis mengikuti kegiatan diluar kampus yaitu pelatihan sertifikat pelatihan sebagai peserta mini course “ Health Safety Enviroment (HSE) Plan” yang diselenggarakan oleh PT. Academy Capital Energy. Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas terselesaikannya skripsi yang berjudul “**Adsorpsi Antibiotik *Tetracycline* pada Mikroplastik *High Density Polyethylene (HDPE)*”**”, penulis mengucapkan terimakasih kepada orang tua, kakak, dan teman-teman yang membantu proses skripsi ini dan memberikan doa serta dukungan kepada penulis.