



## **TUGAS AKHIR**

### **Adsorpsi Antibiotik *Tetracycline* pada Mikroplastik berjenis *Low Density Polyethylene (LDPE)***

**Khuzeiv Syauqanil Iqra**  
**21513142**

**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 Low Density Polyethylene (LDPE) Microplastics***

**Khuzeiv Syauqanil Iqra**

**21513142**

**Supervisor:**

**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 berjenis *Low Density Polyethylene (LDPE)*

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.

**Khuzeiv Syaouqanil Iqra**

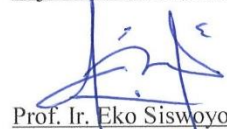
**21513142**

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 6 Agustus 2025 dan disetujui oleh:

 18/9 '25

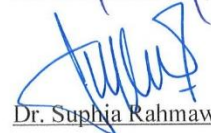
Puji Lestari, S.Si, M.Sc., Ph.D.

(Pembimbing 1)

 18/9/2025

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

(Pembimbing 2)

 18/09/25

Dr. Suphia 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,



Khuzeiv Syauqanil Iqra  
21513142

## PRAKATA

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

*Alhamdulillahirobbil'alamin.* Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya serta kelancaran dalam penulisan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Adsorpsi Antibiotik *Tetracycline* pada Mikroplastik berjenis *Low Density Polyethylene (LDPE)*”**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik (S.T.) Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik karena adanya dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Keluarga penulis, terutama kepada kedua orang tua yaitu Sutra Dewie, S.T dan Ermi Johan, S.Si, serta saudara penulis yaitu M. Naufal Zakiy dan Afif Barqi Abbasy yang telah memberikan dukungan secara materil dan non materil.
2. Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan waktu, bimbingan, saran, motivasi dan nasihat bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D., IPU. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan review, arahan, masukan dan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ibu Dr. Suphia Rahmawati, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan review, kritik dan saran dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen pengajar di Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu kepada penulis.
6. Serta kepada teman teman seperjuangan dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terimakasih telah membantu demi terselesaikannya tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih memiliki banyak kekurangan, sehingga perlu adanya saran serta masukan dari berbagai pihak.

*Wassalamualaikum Wr.Wb*

Sleman, 28 Mei 2025

Khuzeiv Syauqanil Iqra

## Adsorpsi Antibiotik *Tetracycline* pada Mikroplastik berjenis *Low Density Polyethylene* (LDPE)

Mahasiswa : Khuzeiv Syauqanil Iqra  
NIM : 21513142  
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana  
Pembimbing : 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 dan juga residu antibiotik seperti *tetracycline* di lingkungan khususnya di perairan menjadi perhatian serius karena memiliki potensi bahaya terhadap ekosistem dan juga kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan dan efektivitas mikroplastik (MPs) berjenis *low density polyethylene* (LDPE) yang telah mengalami *photoaging* maupun tanpa *photoaging* dalam proses adsorpsi di air. Parameter yang mempengaruhi proses adsorpsi yang dikaji meliputi pH, konsentrasi *tetracycline*, dan waktu kontak. Karakterisasi mikroplastik sebelum dan setelah proses *photoaging* dilakukan menggunakan instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *Scanning Electron Microscopes* (SEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses adsorpsi optimum terjadi pada pH 7 dengan nilai efisiensi adsorpsi sebesar 41,81% untuk MPs setelah *photoaging* dan sebesar 59,23% untuk MPs tanpa *photoaging*. Proses adsorpsi mengikuti model isothermal adsorpsi *Langmuir* dengan kapasitas adsorpsi maksimum ( $Q_{max}$ ) untuk MPs LDPE setelah *photoaging* sebesar 1,217 mg/g dan MPs LDPE tanpa *photoaging* sebesar 0,291 mg/g. Model kinetika adsorpsi *tetracycline* pada MPs LDPE mengikuti model *pseudo second-order* dengan nilai  $Q_e$  1.315 dan  $K_2$  0.038 g/mg.min, yang mengindikasikan mekanisme adsorpsi terjadi secara kimiawi dan *monolayer*. Hasil penelitian ini menunjukkan potensi MPs sebagai vektor pencemar sekunder dalam sistem perairan, serta pentingnya memahami interaksi antara

polutan organik dan mikroplastik dalam upaya pengelolaan risiko lingkungan.

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

## ***Adsorption of Tetracycline Antibiotics on Low Density Polyethylene (LDPE) Microplastics***

*Student* : Khuzeiv Syauqanil Iqra  
*Student Number* : 21513142  
*Study Program* : Environmental Engineering – Bachelor Program  
*Supervisor* : 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 and antibiotic residues such as tetracycline in the environment, especially in water, are a serious concern because they have potential dangers to ecosystems and human health. This study aims to determine the ability and effectiveness of low-density polyethylene (LDPE) microplastics (MPs) that have undergone photoaging and without photoaging in the adsorption process in water. Parameters that affect the adsorption process studied include pH, tetracycline concentration, and contact time. Characterization of microplastics before and after the photoaging process was carried out using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscopes (SEM). The results showed that the optimum adsorption process occurred at pH 7 with an adsorption efficiency value of 41.81% for MPs after photoaging and 59.23% for MPs without photoaging. The adsorption process follows the Langmuir adsorption isothermal model with a maximum adsorption capacity ( $Q_{max}$ ) for LDPE MPs after photoaging of 1.217 mg/g and LDPE MPs without photoaging of 0.291 mg/g. The kinetic model of tetracycline adsorption on LDPE MPs follows a pseudo-second-order model with a  $Q_e$  value of 1.315 and  $K_2$  of 0.038 g/mg.min, which indicates that the adsorption mechanism occurs chemically and monolayer. The results of this study indicate the potential of MPs as a secondary pollutant vector in aquatic systems, as well as the importance of understanding the interactions between organic pollutants and microplastics in environmental risk management efforts.*

*Key words: Adsorption, LDPE, Microplastic, Tetracycline.*

## DAFTAR ISI

PRAKATA.....	i
Abstrak .....	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
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 Definisi Mikroplastik.....	4
2.2 Mikroplastik LDPE ( <i>Low Density Polyethylene</i> ) .....	5
2.3 Dampak Mikroplastik di Lingkungan.....	6
2.4 Antibiotik <i>Tetracycline</i> .....	6
2.5 Dampak <i>Tetracycline</i> di Lingkungan .....	7
2.6 Adsorpsi.....	9
2.7 <i>Scanning Electron Miscroscopes (SEM)</i> .....	9
2.8 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i> .....	10
2.9 Spektrofotometer UV-Visible.....	10
BAB III METODE PENELITIAN.....	11
3.1 Alat dan Bahan.....	11
3.1.1 Alat .....	11
3.1.2 Bahan.....	11
3.2 Analisis Data .....	12
3.2.1 Diagram Alir Penelitian .....	12

3.2.2	Fotodegradasi Mikroplastik LDPE ( <i>Low Density Polyethylene</i> )	12
3.2.3	Pembuatan Kurva kalibrasi Larutan <i>Tetracycline</i> .....	14
3.2.4	Percobaan Adsorpsi .....	14
3.2.5	Efisiensi (%) Adsorpsi .....	17
3.2.6	Kapasitas Adsorpsi .....	18
3.2.7	Isoterm Adsorpsi.....	18
3.2.8	Kinetika Adsorpsi .....	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		20
4.1	Karakterisasi Adsorben .....	20
4.1.1	Scanning Electron Microscopes (SEM) .....	20
4.1.2	Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR).....	21
4.2	Percobaan Adsorpsi .....	23
4.3.1	Variasi pH .....	23
4.3.2	Variasi Konsentrasi <i>Tetracycline</i> .....	26
4.3.3	Variasi Waktu Kontak.....	29
4.3	Isoterm Adsorpsi.....	31
4.4	Kinetika Adsorpsi .....	34
BAB V PENUTUP .....		37
5.1	Kesimpulan.....	37
5.2	Saran .....	37
DAFTAR PUSTAKA .....		39
LAMPIRAN.....		45
RIWAYAT HIDUP.....		1

## DAFTAR TABEL

Tabel 1: Data percobaan adsorpsi tetracycline pada variasi pH.....	24
Tabel 2: Data percobaan adsorpsi dengan variasi konsentrasi tetracycline.....	27
Tabel 3: Data percobaan adsorpsi <i>tetracycline</i> dengan variasi waktu kontak.....	29
Tabel 4: Pemodelan isoterm adsorpsi antara mikroplastik LDPE <i>aging</i> dan non <i>aging</i> . ....	33
Tabel 5: Data kinetika adsorpsi <i>tetracycline</i> .....	35

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1: (a) Mikroplastik LDPE; (b) Struktur Kimia LDPE. ....	6
Gambar 2: Struktur kimia <i>tetracycline</i> . ....	7
Gambar 3: Proses terjadinya adsorpsi. ....	9
Gambar 4: Cara kerja <i>scanning electron microscope</i> (SEM). ....	10
Gambar 5: Diagram alir penelitian. ....	12
Gambar 6: Proses fotodegradasi mikroplastik. ....	14
Gambar 7: Diagram alir percobaan adsorpsi dengan variasi pH. ....	15
Gambar 8: Diagram alir percobaan adsorpsi dengan variasi konsentrasi <i>tetracycline</i> . ....	16
Gambar 9: Diagram alir percobaan adsorpsi dengan variasi waktu kontak. ....	17
Gambar 10: Karakterisasi mikroplastik LDPE menggunakan <i>scanning electron microscopes</i> . (a) LDPE non <i>aging</i> ; (b) LDPE <i>Aging</i> ; (c) LDPE non <i>aging</i> setelah adsorpsi. ....	21
Gambar 11: Spektrum gugus fungsi mikroplastik LDPE menggunakan FTIR. ....	23
Gambar 12: Hubungan variasi ph terhadap efisiensi (%) <i>removal</i> . ....	25
Gambar 13: Hubungan variasi ph terhadap kapasitas adsorpsi. ....	26
Gambar 14: Hubungan variasi konsentrasi <i>tetracycline</i> terhadap efisiensi (%) <i>removal</i> . ....	27
Gambar 15: Hubungan variasi konsentrasi <i>tetracycline</i> terhadap kapasitas adsorpsi. ....	28
Gambar 16: Hubungan variasi waktu kontak terhadap efisiensi (%) <i>removal</i> . ....	30
Gambar 17: Hubungan variasi waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi. ....	31
Gambar 18: Grafik isoterm adsorpsi <i>Langmuir</i> . ....	32
Gambar 19: Grafik isoterm adsorpsi <i>Freundlich</i> . ....	32
Gambar 20: Grafik kinetika adsorpsi <i>tetracycline pseudo first-order</i> . ....	34

Gambar 21: Grafik kinetika adsorpsi *tetracycline pseudo second-order*.

..... 35

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kurva Larutan Standar.....	45
Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian.....	46

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Plastik adalah salah satu bahan yang biasa digunakan manusia dalam kehidupan sehari-hari untuk mengemas suatu produk dan bisa menjadi bagian daripada produk itu sendiri. Karena memiliki sifat fisikokimia yang menguntungkan dan memiliki harga murah, produksi plastik banyak digunakan dalam kegiatan industri, pertanian dan juga kebutuhan hidup sehari-hari (Gao et al., 2022). Salah satu jenis plastik yang biasa digunakan dalam kehidupan sehari-hari yaitu LDPE (*Low Density Polyethylene*). Plastik LDPE adalah salah satu jenis plastik yang biasa digunakan masyarakat dalam kehidupan sehari-hari seperti kantong kresek, pembungkus makanan dan juga plastik tipis lainnya (Mogot et al., 2020). Keberadaan plastik di lautan dalam kurun waktu beberapa tahun tidak hanya berukuran besar atau makroplastik, namun juga ditemukan plastik berukuran kecil atau mikroplastik.

Mikroplastik yaitu partikel plastik yang berukuran ( $< 5$  mm), yang dapat berbentuk *fiber*, *sheet*, *fragment*, dan *granula* (Alam & Rachmawati, 2020). Mikroplastik terbagi menjadi mikroplastik primer dan sekunder, mikroplastik primer yaitu partikel mikroplastik yang sengaja dibuat untuk kebutuhan kosmetik dan serat sintetis pembuatan pakaian (Kefer et al., 2021), sedangkan mikroplastik sekunder adalah mikroplastik yang terbentuk dari plastik yang mengalami proses fragmentasi dan fotodegradasi di lingkungan sehingga menjadi mikroplastik (Harpah et al., 2020).

Pencemar organik adalah zat-zat yang berasal dari bahan organik seperti limbah tumbuhan atau hewan yang masuk kedalam lingkungan baik secara alami maupun karena adanya aktivitas manusia. Contoh keberadaan pencemar organik dapat berasal dari limbah industri, limbah pertanian, limbah domestik dan limbah obat-obatan. Salah satu pencemar organik dalam air yang berasal dari limbah obat-obatan adalah *tetracycline*. *Tetracycline* merupakan obat antibakteri yang umum digunakan untuk manusia ataupun hewan, hal ini dikarenakan obat ini memiliki efektivitas yang tinggi dan dengan biaya yang terjangkau, penggunaan antibiotik

telah digunakan selama bertahun-tahun sebagai penambah pertumbuhan (efisiensi penyerapan nutrisi) pada hewan, sedangkan pada manusia *tetracycline* dapat digunakan sebagai obat penyakit infeksi yang disebabkan oleh bakteri (Chopra & Roberts, 2001). *Tetracycline* dapat masuk ke lingkungan melalui *grey water* atau hasil pembuangan ekskresi manusia dan hewan, dimana 50-80% dikeluarkan dalam bentuk urin dan tinja, limbah rumah sakit, limbah farmasi dan juga berasal dari *runoff* dari area peternakan (Fiaz et al., 2021).

Plastik yang banyak dipergunakan saat ini untuk membungkus atau menjadi wadah untuk membawa perbelanjaan yang dibuang dan terdegradasi menjadi mikroplastik dan juga banyaknya hasil ekskresi ataupun limbah dari penggunaan antibiotik *tetracycline* di lingkungan, hal ini menyebabkan terjadinya hubungan interaksi antara *tetracycline* dan mikroplastik di lingkungan. Dimana mikroplastik memiliki luas permukaan yang tinggi dan sifat hidrofobik yang dapat menyerap berbagai polutan organik, termasuk antibiotik seperti *tetracycline* di lingkungan (Basri et al., 2024). Dengan melekatnya *tetracycline* pada permukaan mikroplastik di lingkungan perairan dapat meningkatkan mobilitas pencemar tersebut di lingkungan.

Penelitian adsorpsi antibiotik *tetracycline* pada mikroplastik berjenis LDPE ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih dalam mengenai interaksi yang dapat terjadi antara pencemar organik *tetracycline* dan mikroplastik yang ada di lingkungan. Dengan dilakukannya penelitian ini melalui tahapan simulasi dan analisis yang dilakukan, dapat mengungkap bagaimana *tetracycline* dapat teradsorpsi pada permukaan mikroplastik dan mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses adsorpsi *tetracycline* pada permukaan mikroplastik.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana pengaruh parameter pH, konsentrasi *Tetracycline*, dan waktu kontak terhadap adsorpsi *Tetracycline* ke permukaan mikroplastik LDPE?
- 2) Bagaimana efektivitas mikroplastik LDPE dalam mengadsorpsi pencemar organik *Tetracycline*?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Menguji pengaruh dari parameter berupa pH, konsentrasi dan waktu kontak terhadap proses adsorpsi antibiotik *Tetracycline* ke permukaan mikroplastik LDPE.
- 2) Menguji efektivitas adsorpsi mikroplastik berjenis LDPE terhadap antibiotik *Tetracycline*?

### 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Memberi informasi kepada pembaca mengenai proses adsorpsi pencemar organik *Tetracycline* pada mikroplastik berjenis LDPE (*Low Density Polyethylene*)
- 2) Sebagai tambahan referensi dari hasil penelitian untuk mengembangkan ilmu pengetahuan dimasa yang akan datang.

### 1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Penelitian akan dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
- 2) Penelitian akan menggunakan metode *Batch* Adsorpsi.
- 3) Pada biji plastik berjenis LDPE (*Low Density Polyethylene*) akan dilakukan fotodegradasi (Asrane UI2650).
- 4) Parameter uji *tetracycline* yang digunakan berupa jenis sintetis.
- 5) Variasi yang dilakukan untuk dalam kondisi optimum pada adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik berjenis LDPE (*Low Density Polyethylene*) adalah pH, waktu dan konsentrasi.
- 6) Pengujian karakteristik gugus fungsi adsorben dilakukan dengan menggunakan FTIR (*Fourier Infrared Spectroscopy*)
- 7) Analisa tampak permukaan adsorben akan dilakukan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*).

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Definisi Mikroplastik

Mikroplastik adalah salah satu jenis plastik yang berukuran  $< 5$  mm atau berukuran kecil yang terbagi menjadi 2 jenis mikroplastik yaitu primer dan sekunder. Mikroplastik primer adalah partikel mikroplastik berukuran kecil yang dibuat dan diproduksi yang digunakan sebagai bahan baku untuk memenuhi kebutuhan produksi kosmetik dan serat sintetis yang digunakan untuk bahan pembuatan pakaian, sedangkan mikroplastik sekunder merupakan hasil pengolahan plastik berukuran besar menjadi bentuk yang berukuran lebih kecil ( $< 5$  mm) melalui proses fisik namun masih mengandung molekul yang sama dengan mikroplastik jenis primer yaitu polimer. Mikroplastik adalah partikel padat sintetik atau matriks polimer, dengan bentuk teratur atau tidak beraturan yang memiliki ukuran yang beragam. Baik mikroplastik primer ataupun sekunder memiliki sifat tidak dapat larut dalam air karena memiliki sifat hidrofobik (Frias & Nash, 2019).

Secara luas, mikroplastik terbagi menjadi beberapa karakter morfologi atau dapat terbagi menjadi ukuran, bentuk, warna dan jenis. Berdasarkan ukurannya, mikroplastik terbagi menjadi beberapa klasifikasi yaitu nanoplastik ( $< 0,1$  mikron) yang memiliki ciri partikel plastik yang sangat kecil, mikroplastik ( $< 5$  mm), mesoplastik (0,5 – 5 cm), makroplastik (5 – 50 cm) dan megaplastik ( $> 50$  cm) (Auta et al., 2017).

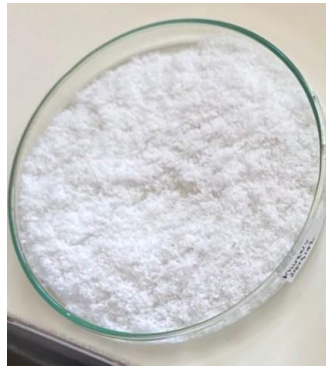
Berdasarkan jenis mikroplastik terbagi menjadi *fragmen*, *fiber*, *film*, *foam*, dan *pellet*. *Fragmen* merupakan jenis mikroplastik yang berbentuk lembaran berukuran panjang rata-rata  $170 \mu\text{m} - 2000 \mu\text{m}$  dan luas area  $9000 \mu\text{m} - 170000 \mu\text{m}$ . Adapun *film* merupakan jenis yang hampir mirip dengan *fragmen* namun jenis ini lebih tipis dan kecil dengan panjang rata-rata antara  $190 \mu\text{m} - 1390 \mu\text{m}$  dan luas areanya antara  $950 \mu\text{m} - 19000 \mu\text{m}$ . *Fiber* merupakan jenis mikroplastik yang berbentuk serpihan serpihan kecil dengan panjang rata-rata antara  $250 \mu\text{m} - 550 \mu\text{m}$ , sedangkan *foam* merupakan jenis mikroplastik yang sering dikenal dengan *polystyrene*. Jenis ini merupakan mikroplastik dengan banyak serat menyerupai busa dan biasanya berbentuk lembaran tipis dengan ukuran  $100 - 1000 \mu\text{m}$ . Jenis *pellet* merupakan

jenis mikroplastik berbentuk bulat tipis dengan densitas yang sangat rendah sehingga biasanya jenis ini sering ditemukan pada permukaan perairan. Jenis ini mempunyai luas area berkisar antara 100 – 1000  $\mu\text{m}$  (Hiwari et al., 2019).

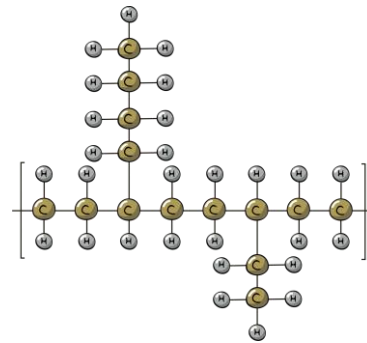
## **2.2 Mikroplastik LDPE (*Low Density Polyethylene*)**

Mikroplastik LDPE adalah partikel plastik yang berukuran ( $< 5 \text{ mm}$ ) yang berasal dari hasil degradasi plastik LDPE yang ada di lingkungan, yang termasuk dalam jenis plastik *polyethylene* yang bersifat fleksibel, ringan, tahan air dan sangat banyak digunakan dalam kegiatan sehari-hari (Salsabila et al., 2022). Mikroplastik LDPE terbentuk melalui proses degradasi fisik, kimia dan biologis dari sampah LDPE yang terbuang ke lingkungan khususnya perairan, proses degradasi di lingkungan dapat terjadi karena adanya paparan sinar UV (fotodegradasi) (280 – 400 nm), gesekan mekanik dari aliran air, dan juga dari proses pelapukan secara alami, dimana LDPE lebih rentan mengalami fragmentasi sehingga dapat lebih mudah membentuk mikroplastik daripada jenis plastik lainnya (Kaing et al., 2024; Sa'diyah & Trihadiningrum, 2020).

Mikroplastik LDPE memiliki nilai densitas paling kecil yaitu berkisar antara 0,91-0,94  $\text{g/cm}^3$ , yang mana nilai tersebut lebih rendah daripada nilai densitas HDPE (0,92-0,97  $\text{g/cm}^3$ ), sehingga hal ini menyebabkan mikroplastik LDPE lebih cenderung mengapung di perairan (Salsabila et al., 2022). Plastik jenis LDPE tersusun atas polimer polietilen yang memiliki 1000 atom karbon, 10 – 30 cabang  $\text{CH}_3$  (Indrawijaya et al., 2019). Adapun struktur kimia dari mikroplastik LDPE dapat dilihat pada **Gambar 1 (b)**.



(a)



(b)

Gambar 1: (a) Mikroplastik LDPE; (b) Struktur Kimia LDPE.

### 2.3 Dampak Mikroplastik di Lingkungan

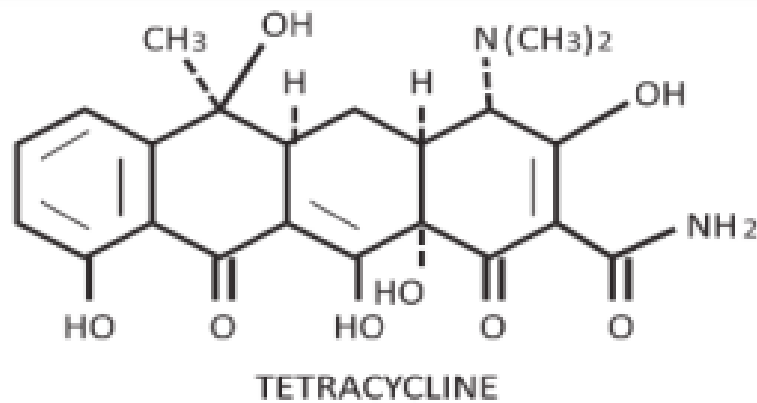
Masuknya mikroplastik ke dalam lingkungan perairan dapat menyebabkan terjadinya akumulasi pada sedimen dan dapat memberikan dampak yang signifikan terhadap rantai makanan biota perairan, mikroplastik dapat menimbulkan kerusakan serius bagi organisme akuatik, dimana apabila mikroplastik masuk ke dalam tubuh biota akan menyebabkan gangguan seperti terjadinya kerusakan saluran pencernaan, penurunan tingkat pertumbuhan, hambatan dalam produksi enzim dan juga dapat menyebabkan peningkatan paparan senyawa adiktif plastik yang bersifat toksik. Sehingga mikroplastik dapat menjadi ancaman yang lebih serius dibandingkan dengan sampah plastik yang berukuran besar (Layn et al., 2020). Mikroplastik yang terakumulasi dari ikan atau biota perairan yang dikonsumsi manusia dapat memiliki potensi bahaya terhadap manusia, polutan mikroplastik dapat menyebabkan toksisitas stress oksidatif, inflamasi, dan peningkatan penyerapan atau translokasi, dan juga dapat menyebabkan gangguan metabolisme, neurotoksisitas dan potensi peningkatan resiko kanker pada manusia (Aulia et al., 2023).

### 2.4 Antibiotik *Tetracycline*

Berdasarkan (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2021 Tentang Pedoman Penggunaan Antibiotik, 2021), Antibiotik adalah jenis obat-obatan yang dapat digunakan untuk mengatasi infeksi yang disebabkan oleh bakteri. Antibiotik dapat bersifat bakterisid (membunuh bakteri) atau

bakteriostatik (menghambat berkembang biaknya bakteri). Salah satu jenis antibiotik yang biasa digunakan adalah *tetracycline*.

*Tetracycline* memiliki rumus molekul  $C_{22}H_{24}N_2O_8$  dengan struktur kimia seperti pada **Gambar 2** dengan berat molekul 444,44 g/mol (Gopal et al., 2020). *Tetracycline* adalah antibiotik kelompok gram positif pertama yang ditoleransi dengan baik dan mudah untuk didistribusikan karena memiliki harga yang terjangkau dan efektif melawan wabah kolera, tifus, sifilis, penyakit *legionaire*, antraks, malaria, *lyme*, tuberkolosis dan juga kusta. Penemuan spesies kimia *tetracycline* ditemukan tanpa sengaja pada zaman dahulu dari analisis sampel tulang yang berasal dari 1500 tahun yang lalu (Ramachanderan & Schaefer, 2021). Pada bidang pertanian, *tetracycline* juga digunakan sebagai campuran pakan ternak yang bertujuan untuk meningkatkan pertumbuhan hewan ternak terutama dapat meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi pada hewan (Chinchilla & Rodríguez, 2017). Pada manusia, contoh merk dagang obat-obatan yang umumnya digunakan yang mengandung *tetracycline* yaitu *Bufacyn*, *Bufatetra*, *Novabiotic*, *Dumocycline*, *Wiclin*, *Itracycline*, *Terramycin*. Sedangkan pada bidang peternakan, obat-obatan yang umumnya digunakan yang memiliki kandungan *tetracycline* yaitu *Aureomycin*, *Chlormax*, *Tetramed*, *Tetrasol*, *Tetravit*, *Tetramin*, *Tetravet*, *Doxyvet* dan *Oxytet LA*.



Gambar 2: Struktur kimia *tetracycline*.

## 2.5 Dampak *Tetracycline* di Lingkungan

Keberadaan *Tetracycline* di lingkungan dapat terjadi melalui *grey water* atau hasil pembuangan ekskresi manusia dan hewan, dimana 50-80% dikeluarkan dalam

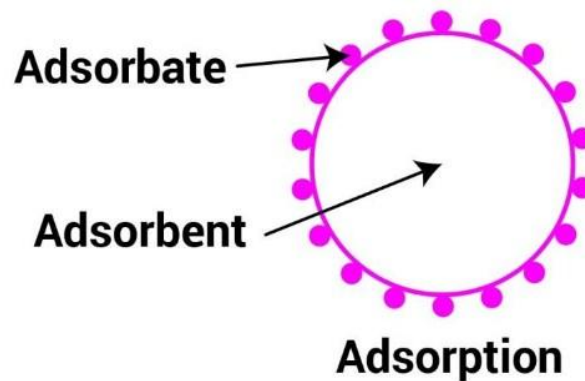
bentuk urin dan tinja, limbah rumah sakit, limbah farmasi dan juga berasal dari *runoff* area peternakan (Fiaz et al., 2021). Konsentrasi *tetracycline* pada air tanah ataupun sumber air yang dekat dengan peternakan tercatat sebesar 5.4- 8.1 µg/L, dan untuk daerah kawasan industri atau rumah sakit dapat mencapai konsentrasi sekitar 280-540 µg/L (Gopal et al., 2020).

Resistensi dari *tetracycline* sudah muncul lebih kurang dari 6 (enam) dekade yang lalu. Penggunaan klinis dan non-klinis yang digunakan dari jenis obat ini sudah dilakukan dari bertahun-tahun yang lalu, sehingga menyebabkan akumulasi yang besar dan resistan (Thaker et al., 2010).

Penggunaan *tetracycline* secara berlebihan dapat menimbulkan kelompok *Antibiotic Resistance Genes* (ARGs). *tetA*, *tetB*, *tetM* dan *tetO* adalah gen resistensi terhadap *tetracycline* yang termasuk kedalam kelompok ARGs, yang dapat menyebabkan bakteri dapat bertahan hidup lebih lama meski telah terpapar antibiotik *tetracycline* dalam jangka waktu yang lama. Gen *tetA* dan *tetB* memiliki mekanisme *efflux pump*, yaitu dapat mengeluarkan *tetracycline* dari dalam sel dengan cara memompa *tetracycline* keluar dari sel bakteri, sehingga dapat menurunkan konsentrasi atau menghilangkan *tetracycline* di dalam sel untuk menghentikan pertumbuhan bakteri, gen ini umumnya ditemukan pada bakteri seperti *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, dan *Salmonella spp.* Sedangkan gen *tetM* dan *tetO* memiliki mekanisme *ribosomal protections proteins*, yaitu mengubah struktur ribosom sehingga *tetracycline* tidak dapat berikatan, sehingga proses sintesis protein bakteri tetap dapat berlangsung meski terpapar *tetracycline*. Gen ini umumnya ditemui pada bakteri *Enterococcus*, *Streptococcus*, dan *Campylobacter* (Cianelli, 2025; Sanford et al., 2001). Kehadiran gen-gen ini di lingkungan, terutama di tanah, air, dan sedimen yang tercemar antibiotik, dapat menyebabkan seleksi alami terhadap bakteri resisten, sehingga bakteri pembawa gen *tetA*, *tetB*, atau *tetM* memiliki keunggulan bertahan hidup. Dalam jangka panjang, hal ini dapat meningkatkan penyebaran resistensi antibiotik di lingkungan dan menimbulkan ancaman serius bagi kesehatan manusia dan hewan jika gen tersebut berpindah ke bakteri patogen, yang mana apabila bakteri ini masuk kedalam tubuh manusia ataupun hewan akan sulit diobati, hal ini dikarenakan bakteri tersebut telah resisten terhadap paparan antibiotik.

## 2.6 Adsorpsi

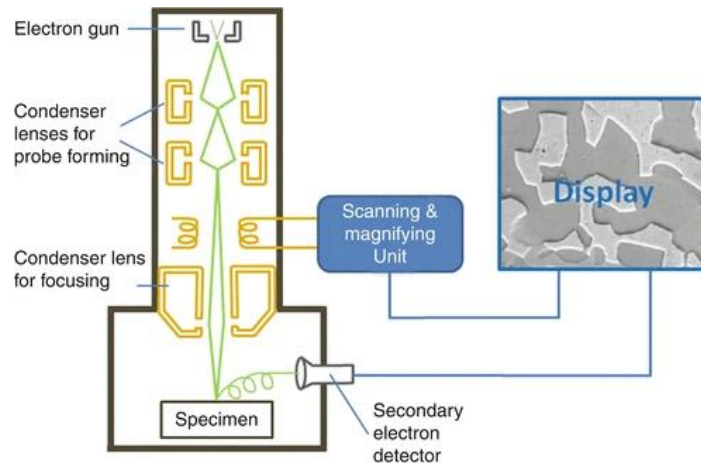
Adsorpsi adalah proses di mana suatu fluida, cairan ataupun gas terikat atau menyerap pada permukaan pada suatu padatan, yang di mana akan membentuk suatu lapisan tipis pada permukaan padatan tersebut. Secara umum, adsorpsi adalah proses penggumpalan suatu substansi terlarut yang ada dalam suatu larutan, oleh permukaan zat atau benda penyerap (Purwitasari et al., 2022). Adapun ilustrasi terjadinya proses adsorpsi seperti pada **Gambar 3**.



Gambar 3: Proses terjadinya adsorpsi.

## 2.7 Scanning Electron Microscopes (SEM)

*Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah salah satu diantara jenis mikroskop yang ada, SEM adalah mikroskop yang bergantung pada emisi elektron. Pada pengoperasiannya SEM dapat membaca atau memindai gambar sampai dengan 300.000x dengan hasil pemindaian berupa gambar skala berwarna abu-abu (Mohammed & Abdullah, 2018). SEM merupakan sejenis mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk dapat melihat benda dengan resolusi tinggi, yang bermanfaat untuk mengetahui mikrostruktur (porositas dan bentuk retakan) benda padat. Cara kerja SEM adalah dengan adanya pemancaran gelombang elektron dari *electron gun* yang terkondensasi di lensa kondensor dan terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif. *Scanning coil* yang diberi energi dapat menyediakan medan magnetik bagi sinar elektron. Berikan sinar elektron yang mengenai cuplihan menghasilkan elektron sekunder dan dikumpulkan oleh detektor sekunder (*Secondary Electron Detector*) (Gunawan & Azhari, 2010). Gambar yang dihasilkan disebut sebagai topografi gambar, sebagai mana seperti pada **Gambar 4**.



Gambar 4: Cara kerja *scanning electron microscope* (SEM).

Sumber : Scanning Electron Microscopy (SEM). In: Wang, Q.J., Chung, YW. (eds) Encyclopedia of Tribology. Springer, Boston, MA

## 2.8 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

*Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) adalah salah satu alat yang digunakan untuk melakukan identifikasi struktur molekul secara bersamaan dan kuantitatif. FTIR akan mempresentasikan struktur molekul dengan berdasarkan getaran atom, di mana dengan alat ini dapat menunjukkan sifat khusus dari ikatan kimia dan struktur molekul dalam suatu material terutama dalam menganalisis spesimen yang berkaitan dengan plastik, polimer dan komponen organik (Nandiyanto et al., 2023).

## 2.9 *Spectrofotometer UV-Visible*

Spektrofotometri adalah alat atau instrumen yang digunakan untuk melakukan pengukuran daya serap suatu cairan yang mengandung sekelompok kromofor pada panjang gelombang cahaya tertentu (Hidayah et al., 2024). Spektrofotometri *UV-Visible* adalah metode analisis struktur kimia secara kualitatif dan kuantitatif yang menggunakan interaksi cahaya dengan sampel yang bertujuan untuk menentukan konsentrasi suatu zat yang terkandung dalam sampel (Abriyani et al., 2024) Spektrofotometer *UV-Visible* adalah suatu metode spektroskopi pada panjang gelombang ( $\lambda$ ) 190-700 nm (Yulia et al., 2021).

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

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

Adapun alat dan bahan yang akan digunakan dari kegiatan penelitian Adsorpsi Antibiotik *Tetracycline* pada Mikroplastik berjenis *Low Density Polyethylene* (LDPE) ini adalah sebagai berikut:

##### **3.1.1 Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggiling baja (*grinder*) (Mesin Giling FCT-2500)
2. Mesin penyaring otomatis dengan saringan baja tahan karat (U.S.A Standart Testing Sieve. No. 30 mesh)
3. Cawan kaca
4. *Orbital shaker*
5. Filter membran (ukuran pori 0,45  $\mu\text{m}$ )
6. Erlenmeyer (50 mL dan 100 mL)
7. Gelas ukur
8. Pipet volumetrik
9. Spatula
10. Timbangan analitik
11. Spektrofotometer UV-vis (UV – Pharma Spec 1700)
12. *Scanning Electron Microscope* (SEM)
13. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

##### **3.1.2 Bahan**

Bahan yang akan digunakan adalah:

1. Biji plastik berjenis LDPE (*Low Density Polyethylene*) (Asrane UI2650)
2. *Tetracycline*
3. Air (Aquadess)

Alat dan bahan yang tertulis diatas disusun sesuai dengan kebutuhan untuk melakukan pengujian atau penelitian mengenai analisis simulasi Adsorpsi Antibiotik *Tetracycline* pada Mikroplastik berjenis *Low Density Polyethylene*

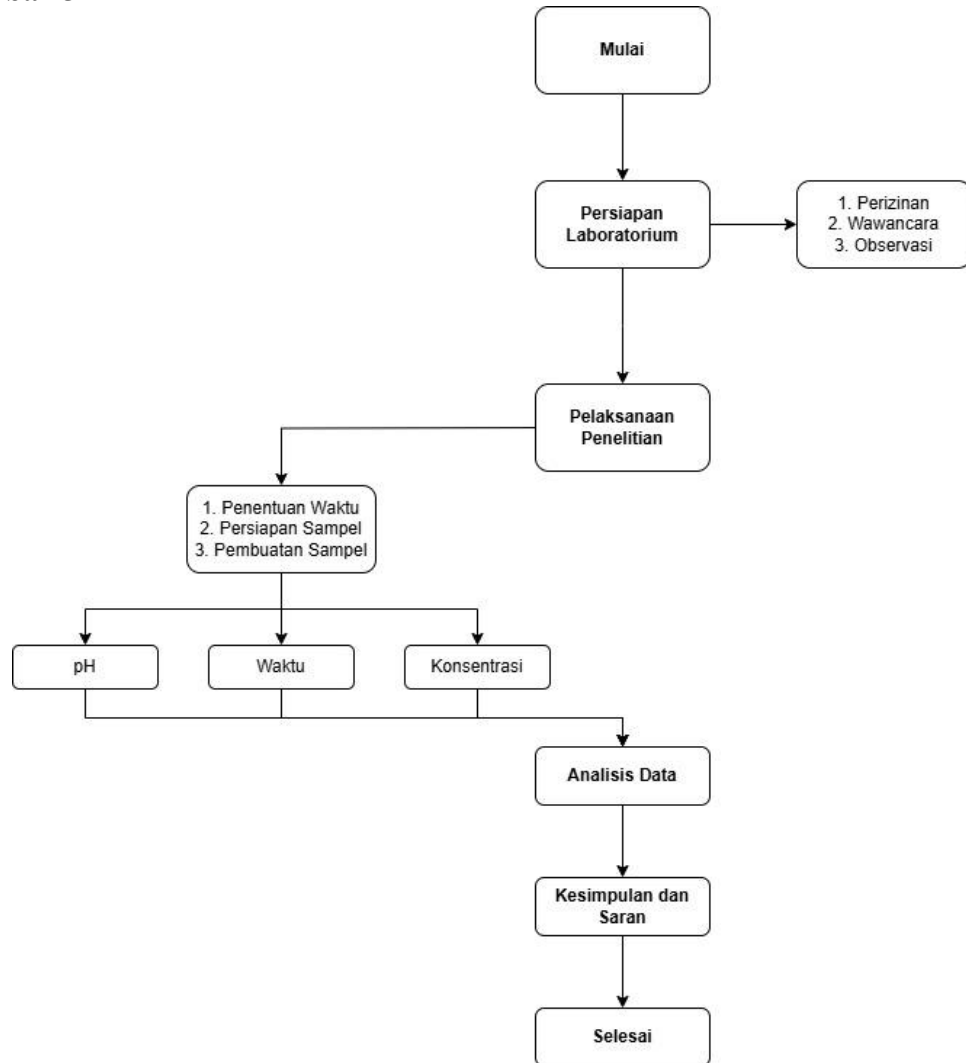
(LDPE).

### 3.2 Analisis Data

Adapun tahapan analisis data yang perlu dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 3.2.1 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir penelitian yang akan dilakukan, dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5: Diagram alir penelitian.

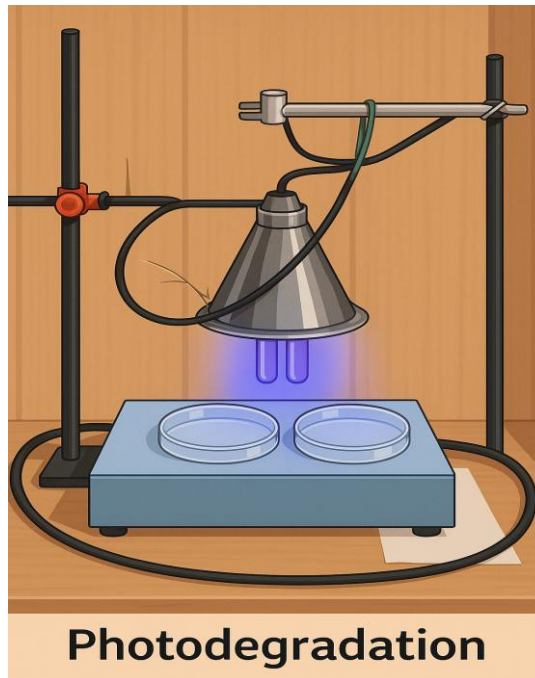
#### 3.2.2 Fotodegradasi Mikroplastik LDPE (*Low Density Polyethylene*)

Sebelum dilakukan fotodegradasi, biji plastik berjenis LDPE akan di giling menggunakan *grinder* dan akan dilakukan penyaringan menggunakan penyaring otomatis dengan ukuran 30 mesh.

Fotodegradasi mikroplastik adalah salah satu proses yang digunakan dalam proses memodifikasi struktur kimia dari mikroplastik, di mana proses ini menginisiasi degradasi plastik di air yang selanjutnya akan mengakibatkan terjadinya oksidasi dari permukaan polimer agar membentuk gugus karbonil dan hidroksil (Achmad et al., 2022). Pada penelitian ini, mikroplastik yang akan didegradasi adalah LDPE (*Low Density Polyethylene*) dengan menggunakan metode *aging* atau memberi paparan sinar UV pada LDPE selama 100 jam atau 4 hari dengan tenaga paparan UV sebesar 300 watt, seperti pada **Gambar 6**.

Setelah dilakukan fotodegradasi pada mikroplastik berjenis LDPE, dilakukan analisis menggunakan FTIR dan SEM, analisis menggunakan FTIR adalah teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah dari absorbansi, emisi dan fotokonduktivitas atau *Raman Scattering* dari sampel padat cair dan gas (Pratiwi, 2020). Pembacaan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui apakah terjadi perubahan gugus fungsi dalam polimer mikroplastik yang di uji. Karakterisasi mikroplastik dengan menggunakan FTIR ini memberi wawasan mengenai potensi perubahan fisikokimia mikroplastik yang ada di lingkungan, dengan adanya pergeseran spektrum dan munculnya gugus fungsional baru yang dapat menunjukkan mikroplastik dapat menjadi lebih reaktif serta adanya peningkatan potensi mikroplastik sebagai pembawa pencemal dalam lingkungan (Hernandez et al., 2017).

Sedangkan karakterisasi mikroplastik dengan menggunakan SEM adalah untuk mengidentifikasi morfologi permukaan mikroplastik dengan cara menembakkan berkas elektron pada permukaan mikroplastik (Marati, 2020). Di mana setelah dilakukan fotodegradasi pada mikroplastik, SEM akan menunjukkan peningkatan retakan, pori dan fragmen kecil akibat proses oksidasi dan fragmentasi mekanis.



Gambar 6: Proses fotodegradasi mikroplastik.

### 3.2.3 Pembuatan Kurva kalibrasi Larutan *Tetracycline*

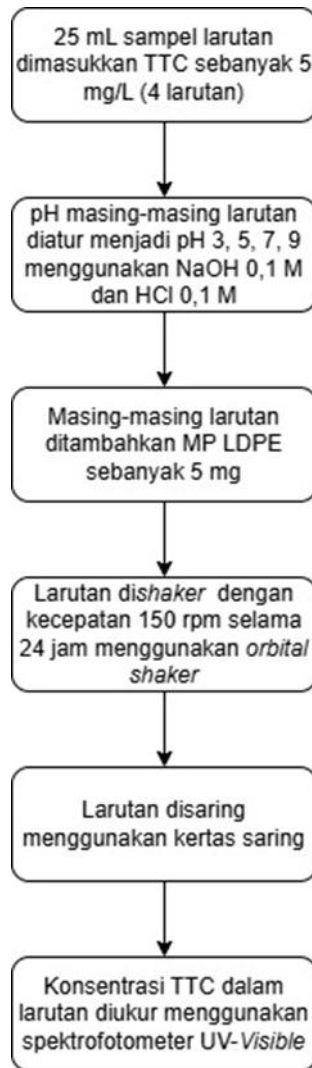
Kurva kalibrasi adalah metode yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara respon dari suatu instrumen terhadap konsentrasi. Di mana terdapat hubungan linier antara konsentrasi larutan dan respon yang diberikan oleh instrumen. Pada penelitian ini, pembuatan kurva kalibrasi dari larutan *tetracycline* dibuat dengan variasi konsentrasi 0, 1, 2, 3, 4, dan 5 mg/l, dengan menggunakan instrumen *Spectrofotometry UV-Visible*.

### 3.2.4 Percobaan Adsorpsi

Percobaan adsorpsi dilakukan dengan menggunakan 3 variasi percobaan yang berbeda, di mana variasi yang digunakan adalah pH, Konsentrasi dan Waktu.

#### a. Variasi pH

Pada percobaan adsorpsi dengan variasi pH dilakukan dengan cara mempersiapkan sampel yang akan digunakan dengan jumlah 25 ml dengan massa MP sebanyak 50 mg dan konsentrasi *tetracycline* sebesar 5 mg/l. Dilakukan percobaan adsorpsi dengan variasi pH 3, 5, 7 dan 9 selama 24 jam dalam keadaan *dishaker*, adapun diagram alir percobaan adsorpsi dengan variasi pH seperti pada **Gambar 7**.



Gambar 7: Diagram alir percobaan adsorpsi dengan variasi pH.

b. Variasi Konsentrasi *Tetracycline*

Percobaan adsorpsi dengan variasi konsentrasi dilakukan dengan mempersiapkan sampel dengan volume 25 ml dengan massa mikroplastik sebanyak 50 mg dengan masing-masing larutan dimasukkan *tetracycline* dengan konsentrasi 5, 10, 15, 20 dan 25 mg/l dengan kondisi pH asli, lalu dilakukan proses adsorpsi dengan cara *dishaker* selama 24 jam, adapun diagram alir percobaan adsorpsi dengan variasi konsentrasi *tetracycline* adalah seperti pada **Gambar 8**.



Gambar 8: Diagram alir percobaan adsorpsi dengan variasi konsentrasi *tetracycline*.

c. Variasi Waktu Kontak

Pada percobaan adsorpsi dengan variasi waktu dilakukan dengan mempersiapkan sampel sebanyak 100 ml dengan konsentrasi *tetracycline* sebesar 5 mg/l dan mikroplastik sebanyak 50 mg. Percobaan dilakukan dengan variasi waktu 10, 20, 30 menit dan 1, 2, 4, 6, 24 jam dalam keadaan pH asli, di mana pada setiap variasi waktu sampel akan diambil sebanyak 5 ml dan dilakukan penyaringan, setelah itu akan diuji dengan menggunakan *Spectrofotometry UV-Visible* pada panjang gelombang 357 nm, adapun diagram alir percobaan adsorpsi dengan variasi waktu adalah seperti pada **Gambar 9**.



Gambar 9: Diagram alir percobaan adsorpsi dengan variasi waktu kontak.

### 3.2.5 Efisiensi (%) Adsorpsi

Penentuan efisiensi atau persentasi adsorpsi adalah seberapa banyak kandungan pencemar organik *tetracycline* yang dapat diserap oleh mikroplastik berjenis LDPE, adapun persamaan yang dapat digunakan untuk dapat mengetahui % adsorpsi adalah sebagai berikut:

$$\% \text{ Efisiensi} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \%$$

Di mana,  $C_0$  adalah nilai konsentrasi awal *tetracycline* (mg/L) sebelum dilakukan proses adsorpsi, sedangkan  $C_e$  adalah nilai konsentrasi *tetracycline* dalam larutan setelah proses adsorpsi (mg/L) (Sylvia et al., 2021). Efisiensi (%) adsorpsi dilakukan adalah untuk dapat mengetahui berapa persen mikroplastik

dapat menyerap atau melakukan adsorpsi terhadap *tetracycline* dengan adanya variasi pH, konsentrasi dan waktu yang dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui dalam kondisi seperti apa mikroplastik dapat melakukan adsorpsi secara optimal pada *tetracycline*.

### 3.2.6 Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi adalah jumlah kandungan *tetracycline* yang dapat teradsorpsi oleh adsorben berupa mikroplastik berjenis LDPE per satuan massa adsorben. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi adalah sebagai berikut:

$$q_e = \frac{C_0 - C_e}{m} \times V$$

Di mana,  $q_e$  adalah kapasitas adsorpsi pada keseimbangan (mg/g),  $V$  adalah volume larutan sampel yang digunakan (L) dan  $m$  adalah massa LDPE sebagai adsorben yang digunakan (g) (Sylvia et al., 2021). Sama halnya dengan (%) adsorpsi, kapasitas adsorpsi dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak *tetracycline* yang dapat teradsorpsi pada mikroplastik LDPE sebagai adsorben per satuan massa adsorben.

### 3.2.7 Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi adalah penggambaran model yang menghubungkan antar jumlah zat yang teradsorpsi pada suatu permukaan adsorben yang memiliki konsentrasi zat terlarut disekitarnya pada suhu tetap. Model ini digunakan untuk mempelajari atau mengetahui bagaimana suatu fase cair atau gas dapat teradsorpsi atau melekat pada suatu permukaan material. Isoterm adsorpsi terbagi menjadi isoterm *Langmuir* dan *Freundlich* dengan rumus persamaan sebagai berikut (Gao et al., 2022):

$$\frac{q_e}{C_e} = q_m K_L - K_L q_e$$

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

Di mana  $C_e$  ( $\mu\text{g. L}^{-1}$ ) adalah nilai konsentrasi kesetimbangan *tetracycline*,  $q_{\text{max}}$  ( $\mu\text{g. g}^{-1}$ ) nilai kapasitas adsorpsi *monolayer* maksimum *tetracycline* pada mikroplastik, sedangkan  $k_L$  ( $\text{L. } \mu\text{g. g}^{-1}$ ) dan  $k_f$  [ $(\mu\text{g. g}^{-1})(\text{L. } \mu\text{g. g}^{-1})^{1/n}$ ] adalah

nilai konstanta masing masing dari model *Langmuir* dan *Freundlich* dan  $\frac{1}{n}$  adalah nilai faktor intensitas adsorpsi (Gao et al., 2022).

Pengolahan data yang perlu dilakukan pada isoterm adsorpsi ini adalah untuk mendapatkan grafik linier dan analisis regresi dari hubungan antara konsentrasi *tetracycline* yang teradsorpsi pada LDPE sebagai adsorben dengan berbagai variasi adsorpsi yang dilakukan.

### 3.2.8 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan hal yang sangat penting dalam menentukan laju proses adsorpsi suatu polutan yang menjelaskan bagaimana molekul-molekul zat terlarut berikatan dengan permukaan material adsorben hingga mencapai titik kesetimbangan (Kurniawan et al., 2016). Penentuan model kinetika adsorpsi terbagi menjadi dua orde yaitu model orde satu semu (*pseudo-first order*) dan model orde kedua semu (*pseudo-second order*), adapun rumus persamaan model tersebut adalah sebagai berikut:

$$\ln (q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

Di mana  $t$  (jam) adalah waktu proses adsorpsi,  $q_t$  ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) dan  $q_e =$  ( $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) merupakan nilai kapasitas adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik pada waktu dan kesetimbangan, sedangkan  $k_1$  ( $\text{h}^{-1}$ ) dan  $k_2$  [ $\text{g} \cdot (\mu\text{g} \cdot \text{h})^{-1}$ ] adalah nilai masing-masing konstanta laju kesetimbangan model orde satu semu (*pseudo-first order*) dan model orde semu (*pseudo-second order*) (Gao et al., 2022). Dalam kinetika adsorpsi, data percobaan yang telah didapat perlu diolah untuk memahami seberapa cepat kemampuan *tetracycline* teradsorpsi pada mikroplastik berjenis LDPE, variasi adsorpsi yang dilakukan untuk mendapatkan data yang dibutuhkan adalah pada variasi waktu, dimana dapat mengetahui seberapa cepat kemampuan *tetracycline* dapat teradsorpsi pada mikroplastik LDPE.

## BAB IV

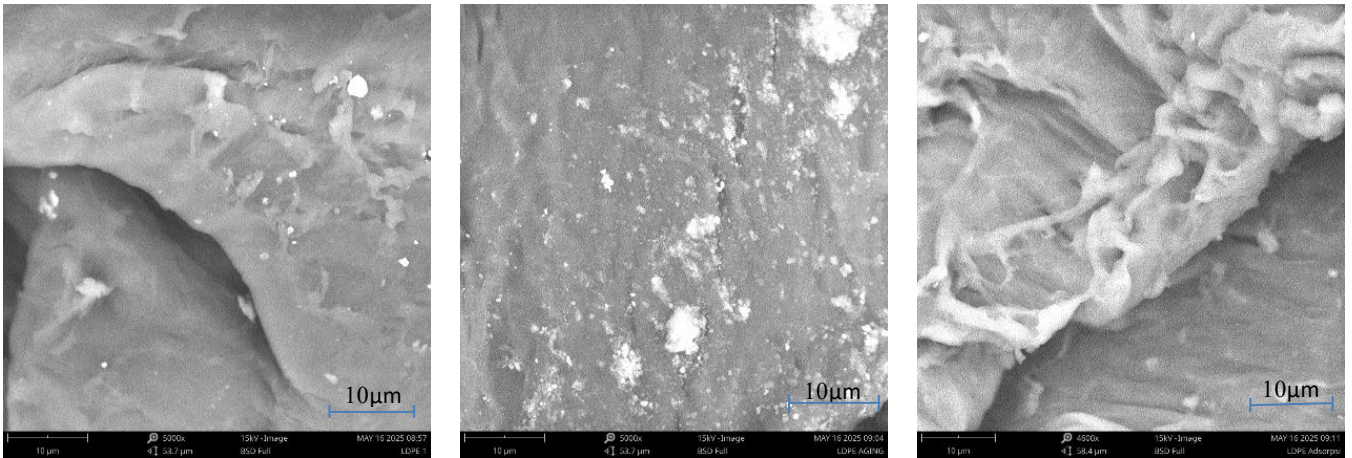
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik adsorben (Mikroplastik LDPE) yang digunakan seperti unsur kimia dan ikatan kimiannya, ukuran pori dan kapasitas daya serap. Pada penelitian ini karakterisasi adsorben dilakukan dengan menggunakan instrumen *Scanning Electron Microscopes* (SEM) dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

##### 4.1.1 Scanning Electron Microscopes (SEM)

Karakterisasi adsorben dengan menggunakan *Scanning Electron Infrared* (SEM) dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui gambar penampang dari adsorben yang akan digunakan dalam proses adsorpsi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Hu et al., 2021), didapatkan hasil permukaan mikroplastik LDPE non *aging* memiliki permukaan yang relatif lebih halus, dibandingkan mikroplastik LDPE *aging* yang terdapat beberapa kerutan, retakan kasar dan permukaan seperti bersisik. Dimana apabila dibandingkan dengan hasil SEM pada penelitian ini, pengujian karakterisasi adsorben menggunakan SEM pada mikroplastik LDPE non *aging* **Gambar 10 (a)** terlihat permukaan mikroplastik yang relatif lebih halus dan homogen, lalu pada hasil karakteristik mikroplastik LDPE *aging* **Gambar 10 (b)** didapat adanya perubahan morfologi yang terjadi akibat proses fotodegradasi, ditandai dengan adanya permukaan yang lebih kasar, terbentuknya retakan, lipatan dan adanya partikel-partikel putih berukuran kecil, hal ini menunjukkan adanya kerusakan mikrostruktur pada permukaan mikroplastik LDPE setelah melalui proses *aging*. Lalu pada pembacaan hasil SEM dari mikroplastik setelah mengalami proses adsorpsi *tetracycline* **Gambar 10 (c)** dapat dilihat adanya perubahan morfologi yang terlihat jelas yaitu adanya permukaan yang tidak homogen dan terdapat seperti lapisan yang melekat pada permukaan mikroplastik LDPE, hal ini menandakan adanya interaksi proses adsorpsi antara permukaan mikroplastik LDPE dengan *tetracycline*.



(a)

(b)

(c)

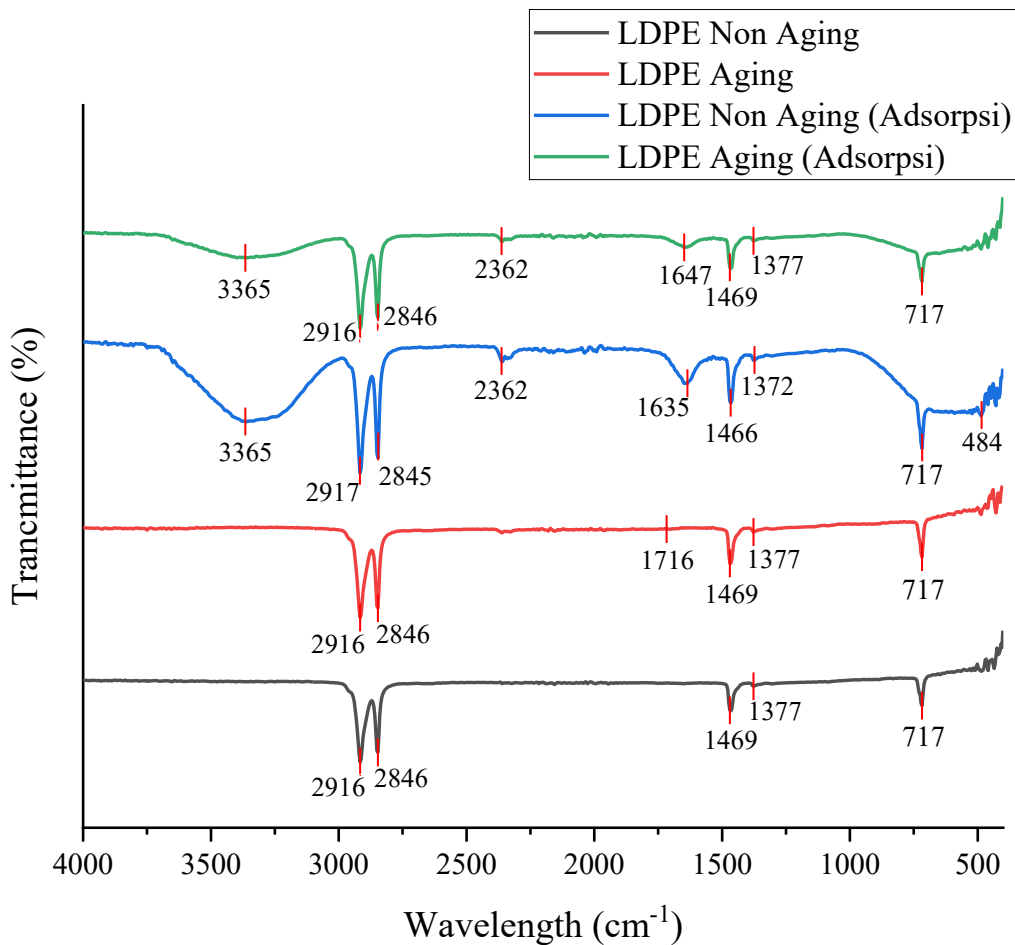
Gambar 10: Karakterisasi mikroplastik LDPE menggunakan *scanning electron microscopes*. (a) LDPE non *aging*; (b) LDPE *Aging*; (c) LDPE non *aging* setelah adsorpsi.

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

Karakterisasi absorbansi menggunakan instrumen FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*) pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya perbedaan gugus fungsi yang terdapat pada mikroplastik LDPE *aging*, dan non *aging* serta melihat mikroplastik LDPE *aging* dan non *aging* setelah dilakukan proses adsorpsi. Spektra FTIR mikroplastik LDPE *aging* dan non *aging* disajikan pada **Gambar 11**. Hasil pengamatan karakterisasi FTIR mikroplastik LDPE dari penelitian (Zanoni et al., 2025; Zvekić et al., 2022) memperlihatkan hasil FTIR mikroplastik *aging* dan non *aging*, dari hasil yang didapat terdapat kesamaan hasil pembacaan FTIR. Dimana pada penelitian ini didapat hasil spektra FTIR mikroplastik LDPE *aging* dan non *aging* terdapat pita serapan yang sama dan hanya terdapat sedikit perbedaan. Pada mikroplastik LDPE *aging* di panjang gelombang  $2916\text{ cm}^{-1}$  dan  $2846\text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus *C-H stretching* (asimetris dan simetris) dimana pada gugus ini terdapat  $\text{CH}_2$  dan  $\text{CH}_3$  yang merupakan rantai utama dalam jenis plastik *polyethylene*. Selanjutnya pada panjang gelombang  $1716\text{ cm}^{-1}$  ditemukan gugus *C = O stretching* yang merupakan gugus karbonil dan menandakan adanya proses oksidasi akibat *aging*. Lalu pada panjang gelombang  $1469\text{ cm}^{-1}$  dan  $1377\text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus *C – H bending* yang merupakan lenturan dari  $\text{CH}_2$  dan  $\text{CH}_3$  masih muncul namun tidak lagi sempurna

yang menandakan adanya kerusakan struktur dasar LDPE akibat proses *aging* dan yang terakhir pada panjang gelombang  $717\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan  $\text{CH}_2$  *rocking* yang merupakan ciri khas LDPE masih terlihat namun sudah tidak sempurna akibat proses *aging*. Sedangkan pada mikroplastik LDPE non *aging* memiliki kesamaan dengan LDPE *aging*, namun pada mikroplastik LDPE non *aging* tidak terdapat puncak pada gelombang  $1716\text{ cm}^{-1}$  yang menandakan tidak adanya gugus karbonil  $\text{C} = \text{O}$  yang terbentuk, lalu pada panjang gelombang  $717\text{ cm}^{-1}$  mikroplastik LDPE non *aging* memiliki grafik yang lebih sempurna yang menandakan rantai panjang  $-\text{CH}_3-$  karakteristik utama dari LDPE.

Karakterisasi mikroplastik LDPE *aging* dan non *aging* setelah melalui proses adsorpsi didapatkan hasil, dimana pada panjang gelombang  $3300\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus fungsi  $-\text{OH}$  dan  $\text{N} - \text{H}$  yang terlihat lebih jelas pada mikroplastik LDPE non *aging* *aging*, hal ini mengindikasikan munculnya gugus hidroksil atau amina yang berasal dari antibiotik *tetracycline* yang teradsorpsi. Lalu pada panjang gelombang  $2916\text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus fungsi  $\text{C} - \text{H}$  *stretch* (alkana) yang dimana pita khas LDPE tetap muncul namun terjadi sedikit penurunan. Selanjutnya pada panjang gelombang  $1647\text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus fungsi  $\text{C} = \text{O}$  (karbonil) yang muncul lebih jelas pada mikroplastik LDPE non *aging* hal ini menandakan adanya keberadaan gugus keton ataupun amida dari antibiotik *tetracycline*. Lalu pada panjang gelombang  $1469\text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus fungsi  $\text{C} = \text{C}$  aromatik atau  $\text{N} - \text{H}$  bending yang merupakan cincin aromatik dari *tetracycline* yang terlihat lebih jelas pada mikroplastik LDPE non *aging*. Dan pada panjang gelombang  $1000\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$  terdapat gugus fungsi  $\text{C} - \text{O}$  atau  $\text{C} - \text{N}$  *stretching* yang menandakan adanya interaksi antara gugus polar dari *tetracycline* dengan permukaan LDPE, yang mana lebih terlihat pada LDPE *aging* dan non *aging*.



Gambar 11: Spektrum gugus fungsi mikroplastik LDPE menggunakan FTIR.

## 4.2 Percobaan Adsorpsi

Percobaan adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik LDPE dilakukan dengan menggunakan variasi pH, konsentrasi, dan waktu kontak. Adapun hasil percobaan adsorpsi yang didapat adalah sebagai berikut:

### 4.3.1 Variasi pH

Percobaan adsorpsi dengan variasi pH dilakukan untuk mengetahui nilai pH agar dapat mencapai titik optimum terjadinya adsorpsi *tetracycline*. Peningkatan pH dapat mempengaruhi kemampuan adsorpsi, pada penelitian (Wang et al., 2018) variasi pH yang digunakan yaitu 2-11. Pada penelitian ini variasi yang digunakan yaitu pH 3, 5, 7 dan 9, dimana pH 3 dan 5 mewakili kondisi asam, pH 7 mewakili kondisi netral dan pH 9 mewakili kondisi basa. Nilai pH awal larutan yang diukur menggunakan pH *universal* adalah pada nilai 6 atau pada kondisi asam, sehingga untuk mengkondisikan nilai pH agar sesuai dengan variasi pH

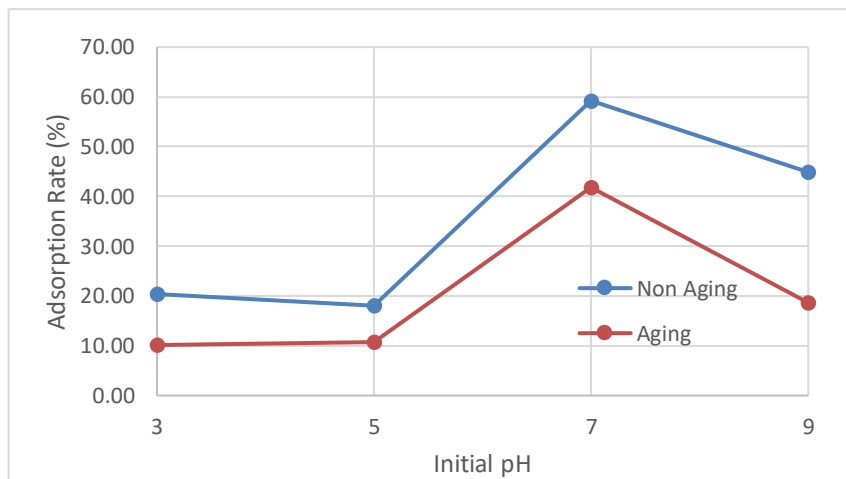
yang diinginkan yaitu 3, 5, 7, dan 9, dilakukan penambahan HCl 0,1 M untuk kondisi asam dan NaOH 0,1 M untuk kondisi basa. Pada percobaan adsorpsi *tetracycline* dengan variasi pH dilakukan dengan menambahkan 50 mg adsorben mikroplastik berjenis LDPE dengan jumlah larutan sampel sebanyak 25 ml pada masing-masing variasi pH. Proses adsorpsi dilakukan dengan cara pengadukan menggunakan *orbital shaker* selama 24 jam. Hasil yang didapat dari percobaan adsorpsi *tetracycline* pada variasi pH dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1: Data percobaan adsorpsi *tetracycline* pada variasi pH.

pH	C <sub>0</sub> (mg/L)	C <sub>e</sub> (mg/L)	% Adsorpsi	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
<b><i>Aging</i></b>				
3	2.98	2.68	10.15	0.15
5	4.20	3.74	10.83	0.23
7	<b>4.35</b>	<b>2.53</b>	<b>41.81</b>	<b>0.91</b>
9	4.05	3.29	18.73	0.38
<b><i>Non Aging</i></b>				
3	2.98	2.38	20.30	0.30
5	4.20	3.44	18.05	0.38
7	<b>4.35</b>	<b>1.77</b>	<b>59.23</b>	<b>1.29</b>
9	4.05	2.23	44.94	0.91

Dari data pada **Tabel 1** diatas, untuk mengetahui hubungan antara efisiensi (%) *removal* terhadap variasi pH dapat dilihat grafik pada **Gambar 12**. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Hu et al., 2021), menunjukkan bahwa proses adsorpsi optimum terjadi pada pH 7 yang disebabkan oleh adanya bentuk spesiasi *tetracycline* sebagai *zwitterion* (memiliki muatan positif dan negatif dalam waktu yang bersamaan) pada pH netral. Sedangkan, mikroplastik LDPE yaitu polimer hidrokarbon yang bersifat, non polar, dan hidrofobik, saat dalam air baik mikroplastik yang telah melalui proses *aging* ataupun *non aging* umumnya bermuatan negatif, khusus nya pada pH netral (Fu et al., 2021; Zanoni et al., 2025), sehingga dengan kondisi tersebut dapat terjadi proses tarik menarik antara muatan *tetracycline* yang dapat bermuatan positif dan muatan negatif dari mikroplastik LDPE. Pada penelitian ini hasil grafik hubungan antara hubungan variasi pH dengan efisiensi (%) *removal* pada mikroplastik *aging* dan *non aging*

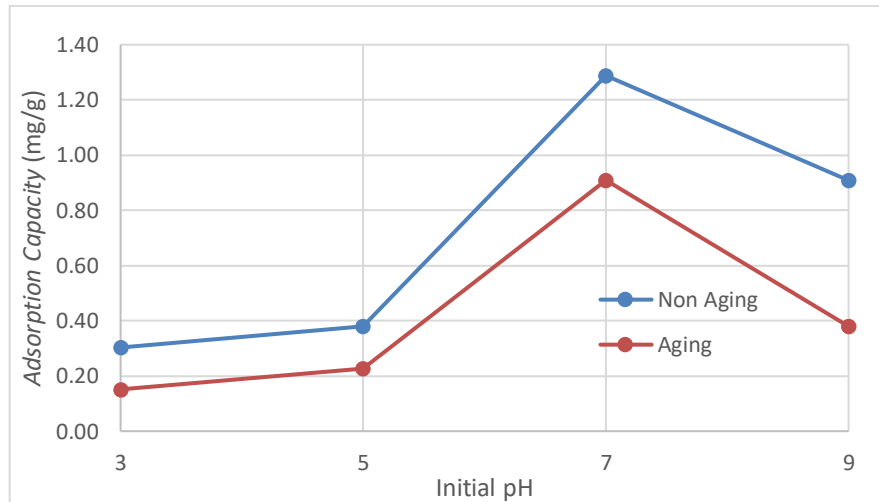
menunjukkan proses adsorpsi optimum yang sama yaitu pada pH netral atau pH 7 dengan efisiensi (%) *removal* sebesar 41,812% untuk mikroplastik LDPE *aging* dan 59,23% untuk mikroplastik LDPE non *aging*. Peningkatan efisiensi (%) *removal* proses adsorpsi *tetracycline* terjadi seiring dengan kenaikan pH yang mendekati keadaan netral, dan terjadi penurunan apabila pH semakin tinggi atau dalam keadaan basa.



Gambar 12: Hubungan variasi ph terhadap efisiensi (%) *removal*.

Sedangkan untuk hubungan antara percobaan adsorpsi *tetracycline* dengan kapasitas adsorpsi dari **Tabel 1**, didapat grafik seperti pada **Gambar 13**. Dimana hasil yang didapat menunjukkan kondisi kapasitas adsorpsi optimum terjadi pada pH netral atau pH 7 dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 0,91 mg/g untuk mikroplastik LDPE *aging* dan 1,29 mg/g untuk mikroplastik LDPE non *aging*. Peningkatan kapasitas proses adsorpsi *tetracycline* terjadi seiring dengan kenaikan pH yang mendekati keadaan netral, dan terjadi penurunan apabila pH semakin tinggi atau dalam keadaan basa.

Proses adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik LDPE dengan percobaan variasi pH didapat kondisi optimum yaitu pada pH netral (pH 7) baik untuk mikroplastik LDPE *aging* ataupun non *aging*. Namun, pada kondisi ini mikroplastik LDPE non *aging* memiliki efisiensi (%) *removal* dan kapasitas adsorpsi yang lebih besar daripada mikroplastik LDPE *aging*.



Gambar 13: Hubungan variasi ph terhadap kapasitas adsorpsi.

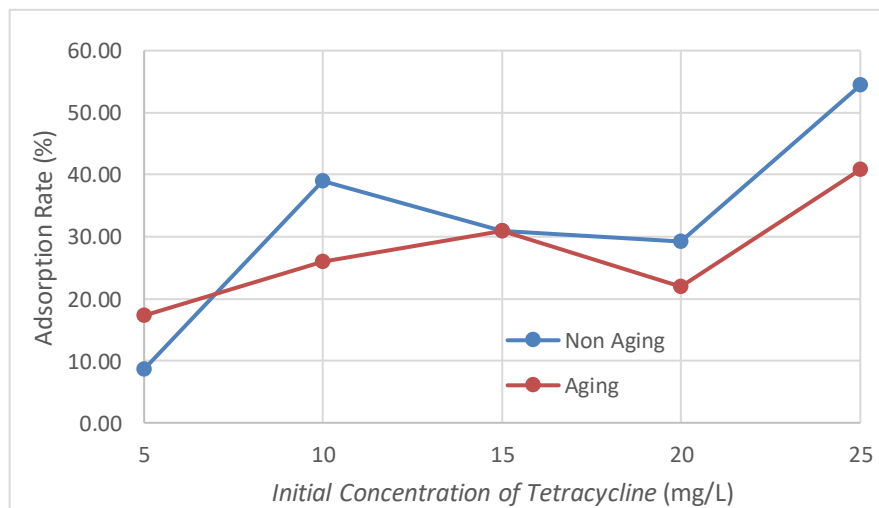
#### 4.3.2 Variasi Konsentrasi *Tetracycline*

Konsentrasi *tetracycline* pada air tanah ataupun sumber air yang dekat dengan peternakan tercatat sebesar 5.4- 8.1  $\mu\text{g/L}$ , dan untuk daerah kawasan industri atau rumah sakit dapat mencapai konsentrasi sekitar 280-540  $\mu\text{g/L}$  (Gopal et al., 2020). Berdasarkan penelitian (Wang et al., 2018), variasi konsentrasi yang digunakan yaitu 0,5 – 30 mg/L untuk mengetahui pengaruh penambahan konsentrasi terhadap proses adsorpsi. Pada penelitian ini percobaan adsorpsi *tetracycline* dilakukan dengan variasi *tetracycline* yaitu 5 mg/L; 10 mg/L; 15 mg/L; 20 mg/L; dan 25 mg/L dengan pH normal yaitu pada pH 6. Setiap variasi konsentrasi dimasukkan adsorben mikroplastik LDPE sebanyak 50 mg pada larutan 25 ml. Pada percobaan adsorpsi dengan variasi konsentrasi *tetracycline* dilakukan pengadukan menggunakan *orbital shaker* selama 24 jam. Setelah itu dilakukan penyaringan dan hasil penyaringan dibaca menggunakan instrumen spektrofotometri, sehingga didapat hasil percobaan sebagaimana pada **Tabel 2**.

Tabel 2: Data percobaan adsorpsi dengan variasi konsentrasi tetracycline.

Konsentrasi (mg/L)	$C_0$ (mg/L)	$C_e$ (mg/L)	% Adsorpsi	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
<i>Aging</i>				
5	5.26	4.35	17.29	0.45
10	11.67	8.64	25.97	1.52
15	14.70	10.15	30.93	2.27
20	20.76	16.21	21.90	2.27
<b>25</b>	<b>22.27</b>	<b>13.18</b>	<b>40.82</b>	<b>4.55</b>
<i>Non Aging</i>				
5	5.26	4.80	8.65	0.23
10	11.67	7.12	38.96	2.27
15	14.70	10.15	30.93	2.27
20	20.76	14.70	29.20	3.03
<b>25</b>	<b>22.27</b>	<b>10.15</b>	<b>54.42</b>	<b>6.06</b>

Dari data percobaan pada **Tabel 2**, untuk mengetahui hubungan antara variasi konsentrasi *tetracycline* dengan proses adsorpsi, data yang didapat dimasukkan kedalam grafik, adapun grafik yang didapat yaitu pada **Gambar 14**.



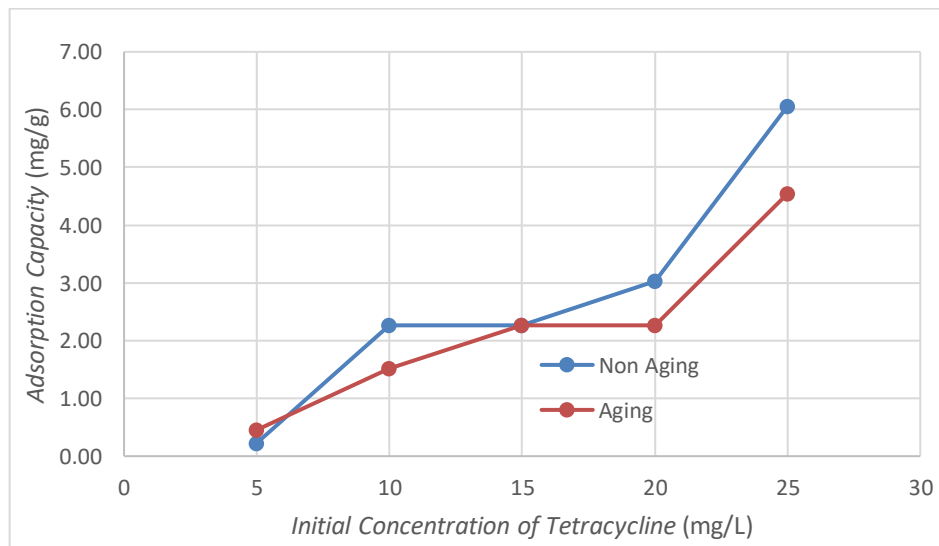
Gambar 14: Hubungan variasi konsentrasi *tetracycline* terhadap efisiensi (%) *removal*.

Berdasarkan penelitian (Chen et al., 2021), konsentrasi awal merupakan faktor penting yang mempengaruhi terjadinya adsorpsi, peningkatan konsentrasi *tetracycline* dapat mempengaruhi peningkatan kapasitas adsorpsi yang dapat

dilakukan adsorben mikroplastik LDPE sampai keadaan jenuh. Pada penelitian ini didapat grafik hubungan antara variasi konsentrasi *tetracycline* dengan efisiensi (%) *removal* yang terdapat pada **Gambar 14**, dapat dilihat adanya peningkatan efisiensi *removal* pada konsentrasi 15 dan 25 mg/L untuk mikroplastik LDPE *aging*, dan pada konsentrasi 10 dan 25 mg/L untuk mikroplastik LDPE pada kondisi sebelum dilakukan *aging*.

Sedangkan hubungan antara variasi konsentrasi *tetracycline* dengan kapasitas adsorpsi berdasarkan data yang didapat pada **Tabel 2**, dapat dilihat dari grafik pada **Gambar 15**. Dimana kapasitas adsorpsi optimum terjadi pada variasi 25 mg/L dengan kemampuan kapasitas adsorpsi sebesar 4,55 mg/g untuk mikroplastik LDPE *aging* dan 6,06 mg/g pada mikroplastik LDPE non *aging*.

Dari hasil yang didapat, peningkatan konsentrasi *tetracycline* seiring dengan peningkatan kapasitas dan efisiensi *removal*. Proses adsorpsi *tetracycline* pada variasi konsentrasi dengan kondisi optimum terjadi pada konsentrasi 25 mg/L untuk mikroplastik LDPE *aging* maupun non *aging*. Pada variasi konsentrasi *tetracycline*, mikroplastik LDPE non *aging* memiliki kemampuan efisiensi (%) *removal* dan kapasitas adsorpsi yang lebih baik daripada mikroplastik LDPE *aging*.



Gambar 15: Hubungan variasi konsentrasi *tetracycline* terhadap kapasitas adsorpsi.

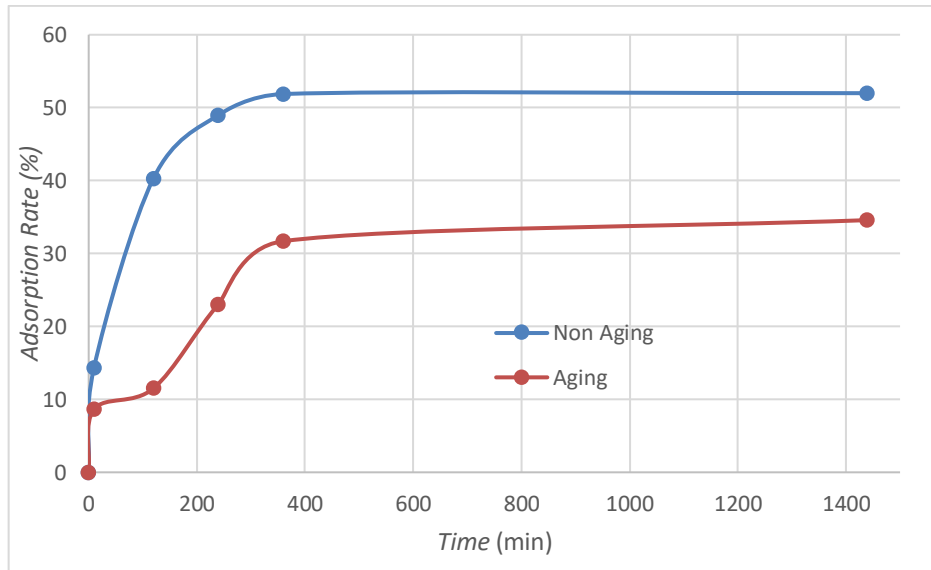
### 4.3.3 Variasi Waktu Kontak

Percobaan adsorpsi dengan menggunakan variasi kontak juga dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui waktu yang digunakan agar proses adsorpsi memiliki kondisi yang optimal. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Hou et al., 2023), variasi waktu kontak yang digunakan yaitu 0-3000 menit, dimana terjadi peningkatan adsorpsi yang sangat cepat pada rentang waktu 0-1440 menit, namun pada waktu 1440-3000 menit tidak ada perubahan atau peningkatan adsorpsi *tetracycline* yang terjadi. Sehingga pada percobaan ini digunakan variasi waktu kontak yang digunakan yaitu 10, 120, 240, 360 dan 1440 menit. Dengan menggunakan konsentrasi *tetracycline* yaitu 5 mg/L sebanyak 25 ml pada masing-masing variasi waktu kontak. Pada masing-masing variasi waktu ditambahkan adsorben sebanyak 50 mg. Pada percobaan ini dilakukan dengan cara pengadukan menggunakan *orbital shaker*, yang mana pada setiap variasi waktu sampel diambil dan dilakukan penyaringan, lalu dibaca menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Sehingga didapat data percobaan dengan variasi waktu kontak dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3: Data percobaan adsorpsi *tetracycline* dengan variasi waktu kontak.

Waktu (min)	C <sub>0</sub> (Awal)	C <sub>e</sub> (Akhir)	% Adsorpsi	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
<i>Aging</i>				
10	5.26	4.80	8.65	0.23
120	5.26	4.65	11.53	0.30
240	5.26	4.05	23.05	0.61
<b>360</b>	<b>5.26</b>	<b>3.59</b>	<b>31.70</b>	<b>0.83</b>
1440	5.26	3.44	34.58	0.91
<i>Non Aging</i>				
10	5.26	4.50	14.41	0.38
120	5.26	3.14	40.35	1.06
240	5.26	2.68	48.99	1.29
360	5.26	2.53	51.87	1.36
<b>1440</b>	<b>4.95</b>	<b>2.38</b>	<b>51.99</b>	<b>1.29</b>

Dari data percobaan hasil adsorpsi *tetracycline* pada **Tabel 3** Kemudian dimasukkan kedalam grafik untuk mengetahui hubungan antara efisiensi (%) *removal* dengan waktu kontak pengadukan yang terdapat pada **Gambar 16**.



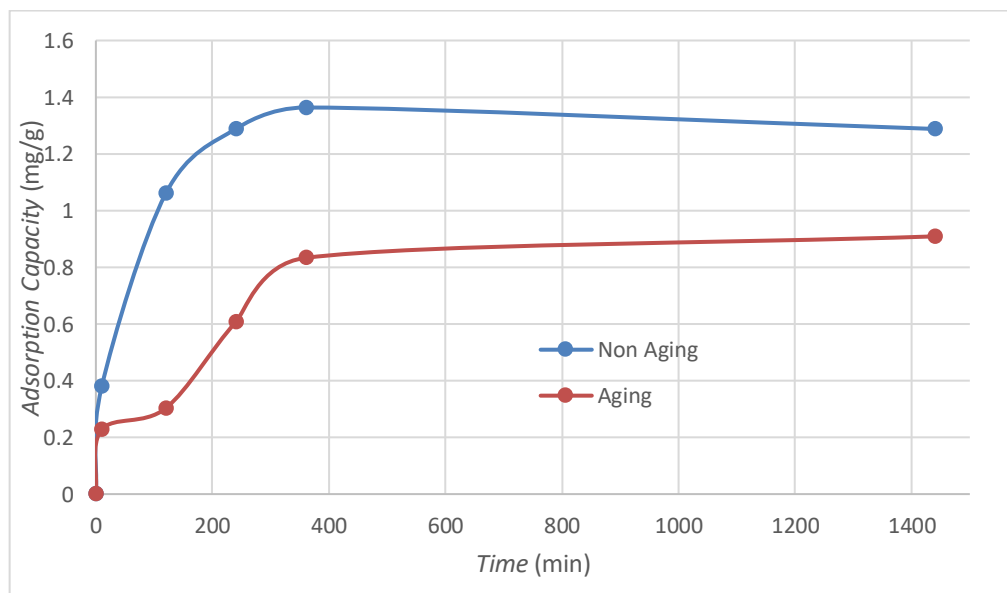
Gambar 16: Hubungan variasi waktu kontak terhadap efisiensi (%) *removal*.

Peningkatan kapasitas dan efisiensi *removal* seiring dengan peningkatan waktu kontak proses adsorpsi. Proses penyerapan terjadi hingga mencapai titik jenuh yang mengakibatkan berhentinya proses adsorpsi atau mencapai titik kesetimbangan, proses adsorpsi akan mencapai titik kesetimbangan apabila tidak lagi terjadi kenaikan kapasitas ataupun efisiensi *removal* hal ini menandakan permukaan adsorben telah terisi oleh *tetracycline* (Setyorini et al., 2023).

Grafik hubungan antara waktu kontak adsorpsi *tetracycline* dengan efisiensi (%) *removal* pada **Gambar 16**, dapat dilihat adanya peningkatan (%) *removal* pada setiap tingkatan waktu kontak, baik untuk mikroplastik dalam kondisi *aging* ataupun sebelum *aging*. Pada variasi waktu 0-200 menit proses adsorpsi pada mikroplastik LDPE non *aging* berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan LDPE *aging*, lalu pada variasi 300-1440 menit pada mikroplastik LDPE non *aging* kurva yang didapat mulai mendatar yang menandakan telah tercapainya keseimbangan adsorpsi, sedangkan pada mikroplastik LDPE *aging* terdapat sedikit peningkatan pada variasi waktu 1440 menit, namun efisiensi (%) *removal* pada mikroplastik LDPE *aging* berada dibawah daripada mikroplastik LDPE non *aging*, hal ini menandakan kemampuan LDPE *aging* lebih rendah.

Sedangkan hubungan antara waktu kontak adsorpsi *tetracycline* dengan kapasitas adsorpsi berdasarkan data yang didapat pada **Tabel 3**, dapat dilihat dari grafik pada **Gambar 17**. Dimana terlihat adanya kenaikan tajam pada variasi

waktu 0-200 menit pada mikroplastik LDPE non *aging*, puncak kapasitas maksimum yang dimiliki mikroplastik LDPE non *aging* yaitu pada variasi waktu 360 menit dengan nilai 1,36 mg/g, namun pada waktu 1440 menit terjadi penurunan kapasitas adsorpsi. Sedangkan pada mikroplastik LDPE *aging* kenaikan nilai kapasitas adsorpsi lebih lambat namun, dapat dilihat bahwa semakin lama proses adsorpsi, kapasitas adsorpsi pada mikroplastik LDPE *aging* semakin meningkat, yaitu dengan kapasitas maksimum sebesar 0,91 mg/g pada variasi waktu 1440 menit.



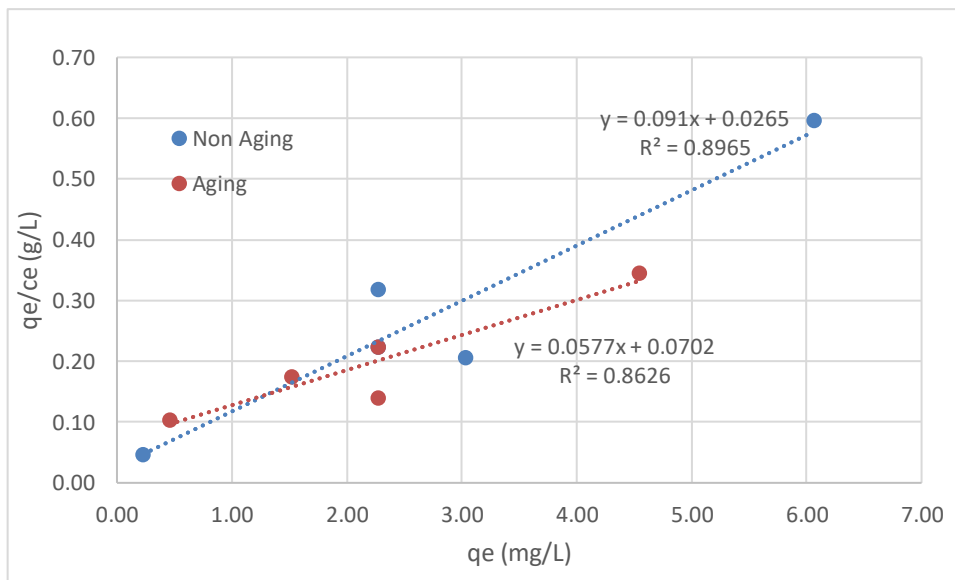
Gambar 17: Hubungan variasi waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi.

Pada proses adsorpsi *tetracycline* dengan variasi waktu kontak, mikroplastik LDPE non *aging* memiliki kemampuan efisiensi (%) *removal* dan kapasitas adsorpsi yang lebih baik daripada mikroplastik LDPE *aging*. Namun untuk mikroplastik LDPE *aging* selalu terjadi peningkatan efisiensi (%) *removal* dan kapasitas adsorpsi seiring dengan penambahan waktu adsorpsi.

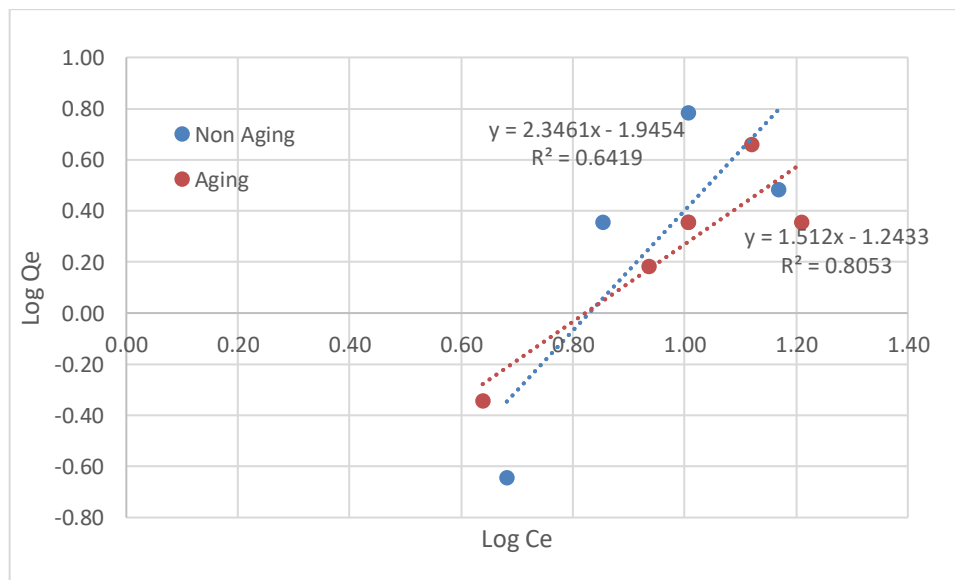
### 4.3 Isoterm Adsorpsi

Isoterm *Langmuir* dan *Freundlich* adalah tipe adsorpsi yang umum untuk dilakukan pada adsorpsi dengan fase padat dan cair. Model isoterm adsorpsi yang terjadi pada adsorben mikroplastik berjenis LDPE terhadap antibiotik *tetracycline* dapat diketahui dengan melakukan pengujian persamaan regresi linear isoterm adsorpsi *Langmuir* type 4 yaitu dengan menghubungkan antara nilai kapasitas

adsorpsi ( $Q_e$ ) serta banyaknya zat yang terjerap per satuan adsorben per konsentrasi adsorbat ( $Q_e/C_e$ ) dan isoterm *Freundlich* dilakukan dengan cara melakukan plot antara  $\ln C_e$  dan  $\ln Q_e$  sehingga dapat diperoleh persamaan garis dan regresi linear. Sehingga didapat grafik isoterm *Langmuir* dan *Freundlich* adalah seperti pada **Gambar 18.** dan **Gambar 19.**



Gambar 18: Grafik isoterm adsorpsi *Langmuir*.



Gambar 19: Grafik isoterm adsorpsi *Freundlich*.

Dari **Gambar 18.** dan **Gambar 19,** bahwa penentuan persamaan isoterm adsorpsi *Langmuir* dan *Freundlich* dapat diketahui dengan cara melihat nilai  $R^2$

yang mendekati dengan nilai 1 atau yang memiliki nilai  $R^2$  terbesar merupakan acuan yang digunakan untuk mengetahui model isoterm (Novita et al., 2021). Dimana, dari grafik yang didapat nilai  $R^2$  menunjukkan  $R^2$  isoterm *Langmuir* mikroplastik *aging* ataupun non *aging* memiliki nilai yang mendekati 1, yaitu 0,826 untuk mikroplastik *aging* dan 0,896 untuk mikroplastik non *aging*. Sedangkan untuk isoterm *Freundlich* hanya mencapai nilai 0,805 untuk mikroplastik *aging*. Sehingga dari hasil grafik yang didapat, dihasilkan pemodelan isoterm adsorpsi antara adsorben mikroplastik *aging* dan tanpa *aging* seperti pada **Tabel 4**.

Tabel 4: Pemodelan isoterm adsorpsi antara mikroplastik LDPE *aging* dan non *aging*.

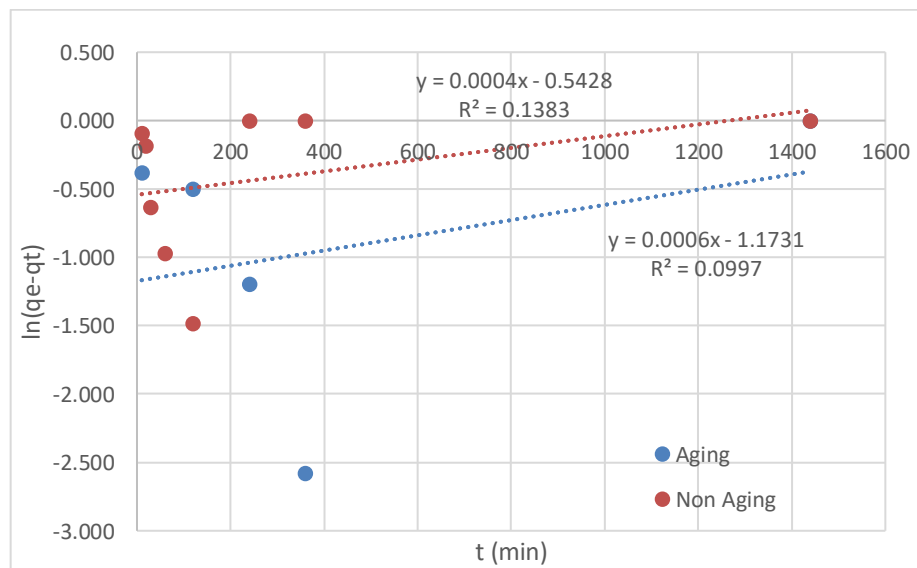
	Isoterm <i>Langmuir</i>					Isoterm <i>Freundlich</i>				
	Slope	Intersep	$R^2$	$Q_m$ (mg/g)	$K_L$ (L/mg)	Slope	Intersept	$R^2$	$K_F$ (mg/g)	N
Aging	0.058	0.070	0.826	<b>1.217</b>	0.058	1.512	-1.243	0.805	0.057	0.661
Non Aging	0.091	0.027	0.896	<b>0.291</b>	0.091	2.346	-1.945	0.642	0.011	0.426

Dari pemodelan pada **Tabel 4**, isoterm *Langmuir* adsorpsi untuk mikroplastik non *aging* memiliki nilai  $R^2$  yang lebih baik daripada mikroplastik *aging* yaitu 0,896. Pada persamaan isoterm *Langmuir*, nilai  $Q_m$  menggambarkan kapasitas adsorpsi untuk membentuk lapisan sempurna pada permukaan adsorben dan  $K_L$  merupakan konstanta yang menunjukkan kekuatan ikatan molekul adsorbat pada permukaan adsorben, dan nilai  $K_L$  adalah nilai konstanta *Langmuir* yang dimana semakin tinggi nilai konstanta atau mendekati satu maka semakin baik afinitas (daya tarik menarik) adsorben terhadap adsorbat (Praveen & Guruprashanth, 2024). Sedangkan pada isoterm *Freundlich*,  $K_F$  merupakan nilai konstanta adsorpsi *Freundlich* dan nilai N merupakan indikator yang merefleksikan variasi efisiensi adsorpsi serta tingkat penyimpangan terhadap model adsorpsi linier (Novita et al., 2021). Nilai N yang lebih tinggi dapat menggambarkan proses adsorpsi yang lebih menguntungkan (Yang et al., 2013). Pada model isoterm *Langmuir* mikroplastik LDPE *aging* memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar daripada mikroplastik LDPE non *aging* yaitu 1,217 mg/g. Namun mikroplastik LDPE non *aging* memiliki nilai  $K_L$  yang lebih tinggi yaitu 0,091 L/mg, yang berarti mikroplastik LDPE non *aging* dapat lebih kuat menarik partikel adsorbat pada konsentrasi rendah.

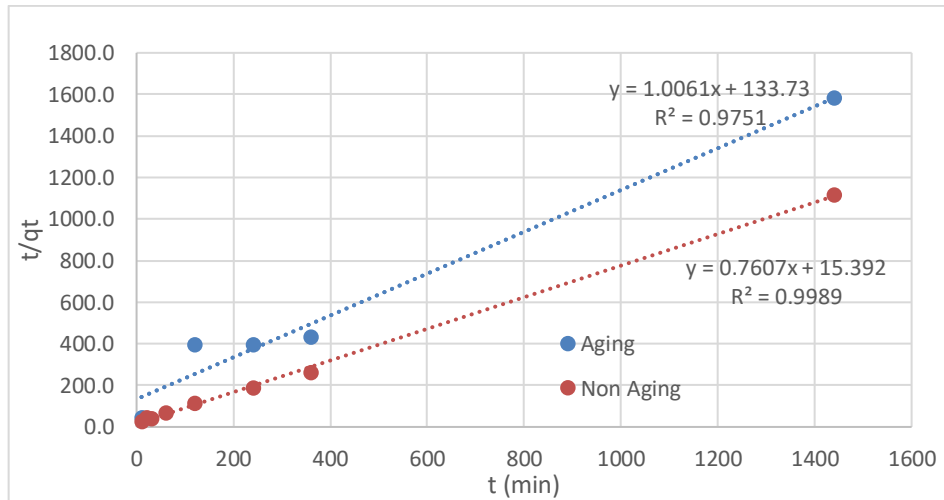
Sehingga dari pemodelan isoterm adsorpsi yang dilakukan, proses adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik LDPE lebih mengarah pada model isoterm *Langmuir* dimana dapat diartikan bahwa proses adsorpsi terjadi secara *monolayer* pada permukaan mikroplastik LDPE.

#### 4.4 Kinetika Adsorpsi

Kinetika menggambarkan laju perubahan adsorbat pada perubahan waktu kontak pada suatu reaksi, dimana kinetika adsorpsi adalah salah satu karakteristik yang mendefinisikan efisiensi dari proses suatu adsorpsi. Pada penelitian ini model kinetika adsorpsi yang digunakan yaitu model kinetika orde satu (*pseudo first-order*) dan model kinetika orde dua (*pseudo second-order*), dimana pada model kinetika orde satu dilakukan dengan cara memplotkan hubungan antara  $t$  (*time*) dengan  $\ln(Q_e - Q_t)$ , sedangkan pada model kinetika orde dua dilakukan dengan cara memplotkan hubungan antara  $t$  (*time*) dengan  $t/Q_t$ .



Gambar 20: Grafik kinetika adsorpsi *tetracycline pseudo first-order*.



Gambar 21: Grafik kinetika adsorpsi *tetracycline pseudo second-order*.

**Gambar 20** merupakan grafik kinetika adsorpsi *pseudo first-order* dengan jenis mikroplastik LDPE setelah melalui fase *aging* dan *non aging*, dimana pada *pseudo first-order* untuk mikroplastik LDPE *aging* menunjukkan persamaan linearitas  $y = 0,0006x - 1,1731$  dengan nilai  $R^2 = 0,0997$ , lalu pada *pseudo first-order* untuk mikroplastik LDPE *non aging* menunjukkan persamaan linearitas  $y = 0.0004x - 0.5428$  dengan nilai  $R^2 = 0,1383$ . Sedangkan, **Gambar 21** merupakan grafik kinetika adsorpsi *pseudo second-order* dengan jenis mikroplastik LDPE *aging* dan *non aging*, pada *pseudo second-order* untuk mikroplastik LDPE *aging* menunjukkan persamaan linearitas  $y = 1,0061 + 133,73$  dengan nilai  $R^2 = 0,9751$  dan pada *pseudo second-order* menunjukkan persamaan linearitas  $y = 0.7607x + 15.392$  dengan nilai  $R^2 = 0,9989$ .

Tabel 5: Data kinetika adsorpsi *tetracycline*.

	<i>Pseudo First Order</i>			<i>Pseudo Second Order</i>		
	$R^2$	$Q_e$ (mg/g)	$K_1$ ( $\text{min}^{-1}$ )	$R^2$	$Q_e$ (mg/g)	$K_2$ (g/mg.min)
<i>Aging</i>	0.0006	1.721	0.0006	<b>0.975</b>	0.994	0.008
<i>Non Aging</i>	0.1383	3.232	0.0004	<b>0.999</b>	1.315	0.038

Sehingga dari grafik kinetika adsorpsi dengan kedua jenis adsorben mikroplastik yang digunakan, didapat data kinetika adsorpsi seperti pada **Tabel 5**. Dimana, penentuan kinetika adsorpsi antara *pseudo first-order* dan *pseudo second-order*, dilakukan dengan membandingkan nilai  $R^2$  yang paling mendekati dengan

nilai 1, atau nilai tertinggi, dimana semakin besar nilai  $R^2$  maka persamaan tersebut lebih mewakili kejadian sebenarnya (Setyorini et al., 2023).

Pada model kinetika *pseudo first-order* nilai  $R^2$  pada adsorben mikroplastik LDPE yang telah melalui *aging* dan tanpa *aging* memiliki nilai yang rendah yang artinya model kinetika *pseudo first-order* tidak cocok untuk menggambarkan kinetika adsorpsi dari *tetracycline*, sedangkan untuk nilai kapasitas adsorpsi ( $Q_e$ ) untuk adsorben mikroplastik LDPE non *aging* lebih tinggi daripada mikroplastik LDPE *aging*, hal ini menunjukkan mikroplastik LDPE non *aging* memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar.

Sedangkan, pada model kinetika *pseudo second-order* lebih menggambarkan adanya proses adsorpsi *tetracycline* berdasarkan nilai  $R^2$  yang didapat lebih tinggi, dimana nilai  $R^2$  untuk mikroplastik LDPE *aging* yaitu 0,975 dan nilai  $R^2$  untuk mikroplastik LDPE non *aging* yaitu 0,999. Pada model kinetika *pseudo second-order* nilai kapasitas adsorpsi ( $Q_e$ ) dan nilai konstanta laju adsorpsi ( $K_2$ ), mikroplastik LDPE non *aging* memiliki nilai yang lebih tinggi yaitu 1,315 untuk kapasitas adsorpsi ( $Q_e$ ) dan 0,038 untuk nilai  $K_2$ . Sehingga dari data yang didapat, mikroplastik LDPE non *aging* memiliki kapasitas dan kecepatan adsorpsi yang lebih besar daripada mikroplastik LDPE *aging* dan lebih cocok pada model kinetika adsorpsi *pseudo second order* yang menggambarkan proses adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik LDPE terjadi secara kimiawi.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah didapat, dapat disimpulkan bahwa:

1. Parameter pH, konsentrasi, dan waktu kontak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap proses adsorpsi *tetracycline*. Proses adsorpsi paling optimal terjadi pada mikroplastik LDPE non *aging* pH netral (pH 7) dengan nilai efisiensi (%) *removal* 59.23% dan kapasitas adsorpsi sebesar 1.29 mg/g. Pada variasi konsentrasi, proses adsorpsi optimum terjadi pada konsentrasi 25 mg/L untuk mikroplastik LDPE non *aging* dengan efisiensi (%) *removal* 54.42 % dan kapasitas adsorpsi sebesar 6.06 mg/g. Sedangkan, pada variasi waktu kontak adsorpsi optimum terjadi pada mikroplastik LDPE non *aging* pada variasi waktu 1440 menit dengan nilai efisiensi (%) *removal* sebesar 51.99 % dengan kapasitas adsorpsi 1.29 mg/g.
2. Mikroplastik LDPE terbukti efektif dapat digunakan sebagai adsorben pencemar organik *tetracycline* dengan karakteristik adsorpsi yang mengikuti model isoterm *Langmuir* dengan  $Q_m$  0.291 mg/g dan  $K_L$  0.091 L/mg dan kinetika adsorpsi *pseudo second-order* dengan nilai  $Q_e$  1.315 dan  $K_2$  0.038 g/mg.min, yang mengindikasikan proses adsorpsi berlangsung secara kimiawi dan *monolayer*, dengan menghasilkan mikroplastik LDPE non *aging* memiliki efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan LDPE *aging* dalam menyerap *tetracycline* dari larutan.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, adapun saran yang perlu diperhatikan adalah;

1. Perlu dilakukan proses fotodegradasi dengan durasi yang lebih lama untuk lebih mengetahui perubahan struktur morfologi dan kerusakan dari mikroplastik yang digunakan.

2. Perlu dilakukan percobaan adsorpsi dengan menggunakan jenis antibiotik lainnya.
3. Perlu dilakukan penambahan variasi proses adsorpsi agar data yang didapat lebih baik dan informatif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abriyani, E., Nissa, A. K., Nurcahyani, I., Haniatin, K., & Andriyani, N. (2024). Analisis Hasil Penentuan Struktur Kimia Senyawa Asam Askorbat Dengan Metode Spektrofotometri UV-VIS Sebagai Bahan Ajar Kimia Analitik. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(11), 134–138. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12563929>
- Achmad, F., Amelia, D., Sembiring, A. S., Ananda, N. P., & Mahardika, M. (2022). Pengaruh Kombinasi Antara Fotodegradasi dan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Terhadap Karakteristik Mikroplastik Dari Limbah Disposable Face Mask. *Jurnal Rekayasa Proses*, 16(2), 45. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.76141>
- Alam, F. C., & Rachmawati, M. (2020). Perkembangan Penelitian Mikroplastik di Indonesia. *Jurnal Presipitasi*, 17(3), 344–352.
- Aulia, A., Azizah, R., Sulistyorini, L., & Rizaldi, M. A. (2023). Literature Review: Dampak Mikroplastik Terhadap Lingkungan Pesisir, Biota Laut dan Potensi Resiko Kesehatan. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 328–341.
- Auta, H. S., Emenike, C. U., & Fauziah, S. H. (2017). Distribution And Importance Of Microplastics In The Marine Environment: A Review Of The Sources, Fate, Effects, And Potential Solutions. *Environment International*, 102, 165–176. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.02.013>
- Basri, S. K., Ahmad, B., Rismawati, N., Pakaya, R., Susilowati, Mahayana, I. M. B., Mulasari, S. A., Putera, D. A., Sudiadnyana, I. W., Lalu, N. A. S., Aranski, A. W., & Astuti, R. D. P. (2024). *Mikroplastik di Lingkungan*. CV. Media Sains Indonesia. [www.medsan.co.id](http://www.medsan.co.id)
- 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>
- Chinchilla, F. G., & Rodríguez, C. (2017). Tetracyclines in Food and Feedingstuffs: From Regulation to Analytical Methods, Bacterial Resistance, and Environmental and Health Implications. In *Journal of Analytical Methods in*

- Chemistry* (Vol. 2017). Hindawi Limited.  
<https://doi.org/10.1155/2017/1315497>
- 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>
- Cianelli, C. (2025). *Prevalence rates of tetB, tetA, and tetM tetracycline resistance genes in environmental Escherichia coli isolates from local waterways*.  
[https://digitalcommons.bridgewater.edu/honors\\_projects](https://digitalcommons.bridgewater.edu/honors_projects)
- Fiaz, A., Zhu, D., & Sun, J. (2021). Environmental fate of tetracycline antibiotics: degradation pathway mechanisms, challenges, and perspectives. In *Environmental Sciences Europe* (Vol. 33, Issue 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00505-y>
- Frias, J. P. G. L., & Nash, R. (2019). Microplastics: Finding A Consensus On The Definition. *Marine Pollution Bulletin*, 138, 145–147.  
<https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2018.11.022>
- Fu, L., Li, J., Wang, G., Luan, Y., & Dai, W. (2021). Adsorption behavior of organic pollutants on microplastics. In *Ecotoxicology and Environmental Safety* (Vol. 217). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112207>
- 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>
- 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>
- Gunawan, B., & Azhari, C. D. (2010). Karakterisasi Spektrofotometri IR dan Scanning Electron Microscopy (SEM) Sensor Gas dari Bahan Polimer Poly Ethylene Glycol (PEG). *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 1–17.

- Harpah, N., Suryati, I., Leonardo, R., Risky, A., Ageng, P., & Addauwiyah, R. (2020). Analisa Jenis, Bentuk dan Kelimpahan Mikroplastik Di Sungai Sei Sikambing Medan. *Jurnal Sains Dan Teknologi: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknologi Industri*, 20(2), 108. <https://doi.org/10.36275/stsp.v20i2.270>
- Hernandez, E., Nowack, B., & Mitrano, D. (2017). Polyester Textiles as a Source of Microplastics from Households: A Mechanistic Study to Understand Microfiber Release During Washing. *Environmental Science & Technology*, 51. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01750>
- Hidayah, H., Mudrikah, S., & Amelia, T. (2024). Perbandingan Metode Analisis Instrumen HPLC dan Spektrofotometer UV-VIS. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(13), 377–386. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12775619>
- Hiwari, H., Purba, N. P., Ihsan, Y. N., S Yuliadi, L. P., & Mulyani, P. G. (2019). Kondisi Sampah Mikroplastik Di Permukaan Air Laut Sekitar Kupang Dan Rote, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Jatinangor, Sumedang*, 5(2), 22. <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m050204>
- 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>
- Indrawijaya, B., Wibisana, A., Setyowati, A. D., Iswadi, D., Naufal, D. P., & Pratiwi, D. (2019). Pemanfaatan Limbah Plastik LDPE sebagai Agregat untuk Pembuatan Paving Blok Beton. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*, 3(1).
- Kaing, V., Guo, Z., Sok, T., Kodikara, D., Breider, F., & Yoshimura, C. (2024). Photodegradation of biodegradable plastics in aquatic environments: Current understanding and challenges. In *Science of the Total Environment* (Vol. 911). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168539>

- Kefer, S., Miesbauer, O., & Langowski, H.-C. (2021). Environmental Microplastic Particles vs. Engineered Plastic Microparticles—A Comparative Review. *Polymers*, *13*(17). <https://doi.org/10.3390/polym13172881>
- Kurniawan, T. W., Seno, D. P., & Sitorus, B. (2016). Pemodelan Kinetika Dan Isoterm Adsorpsi Ion Logam Merkuri Menggunakan Karbon Aktif Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Orbital*, *1*(2), 59–79. <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jp>
- Layn, A. A., Emiyarti, & Ira. (2020). *Distribusi Mikroplastik Pada Sedimen Di Perairan Teluk Kendari* (Vol. 5, Issue 2). <http://ojs.uho.ac.id/index.php/jsl>
- Marati, K. (2020). *Karakterisasi SEM, TEM dan XRD Pada Material Zat Padat*.
- Mogot, R., Anom, D. K., & Kumajas, J. (2020). Destilasi Kering Sampah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE). *Fullerene Journ. Of Chem*, *5*(1), 5–9.
- Mohammed, A., & Abdullah, A. (2018). *Scanning Electron Microscopy (SEM): A Review*. <https://www.researchgate.net/publication/330168803>
- Nandiyanto, A. B. D., Ragadhita, R., & Fiandini, M. (2023). Interpretation of Fourier Transform Infrared Spectra (FTIR): A Practical Approach in the Polymer/Plastic Thermal Decomposition. *Indonesian Journal of Science and Technology*, *8*(1), 113–126. <https://doi.org/10.17509/ijost.v8i1.53297>
- Novita, E., Wahyuningsih, S., Kamil, N. S., & Pradana, H. A. (2021). Model Adsorpsi Isoterm Arang Aktif Kulit Kopi papa Penurunan Warna Air Limbah Pengolahan Kopi. *Agrin*, *25*(1), 22. <https://doi.org/10.20884/1.agrin.2021.25.1.561>
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2021 Tentang Pedoman Penggunaan Antibiotik (2021).
- Pratiwi, A. (2020). Karakterisasi Mikroplastik Dalam Ruang. *Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*.
- Praveen, B. M., & Guruprashanth, N. (2024). Appraisal of Characterization and Adsorption Isoterm in the Bioremediation of Cu and Zn Ions from Aqueous Solutions Exploiting Unmodified Corn and Coconut Husk. *Current World Environment*, *19*(2), 763–777. <https://doi.org/10.12944/CWE.19.2.20>

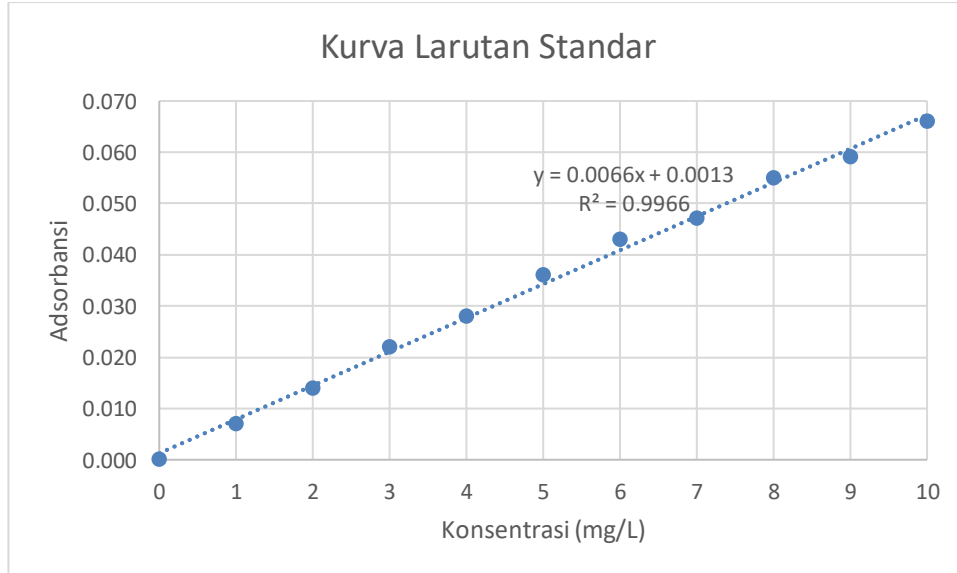
- Purwitasari, D. G., Tussania, R., & Fathoni, R. (2022). Adsorpsi Logam Kadmium (Cd) Pada Kadmium Sulfat (CdSO<sub>4</sub>) Menggunakan Batang Pohon Pisang Sebagai Adsorben. *Jurnal Chemurgy*, 06(1), 131–136. <http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TK>
- Ramachanderan, R., & Schaefer, B. (2021). Tetracycline antibiotics. *ChemTexts*, 7(3). <https://doi.org/10.1007/s40828-021-00138-x>
- Sa'diyah, A., & Trihadiningrum, Y. (2020). Kajian Fragmentasi Low Density Polyethylene Akibat Radiasi Sinar Ultraviolet dan Kecepatan Aliran Air. *Jurnal Teknik ITS*, 9, 2337–3539.
- Salsabila, Indrayanti, E., & Widiaratih, R. (2022). Karakteristik Mikroplastik di Perairan Pulau Tengah, Karimunjawa. *Indonesian Journal of Oceanography (IJOCE)*, 04, 99–108.
- Sanford, J. C. C., Aminov, R. I., Krapac, I. J., Jeanjean, N. G., & Mackie, R. I. (2001). Occurrence and Diversity of Tetracycline Resistance Genes in Lagoons and Groundwater Underlying Two Swine Production Facilities. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(4), 1494–1502. <https://doi.org/10.1128/AEM.67.4.1494-1502.2001>
- Setyorini, D., Arninda, A., Syafaatullah, Q., & Panjaitan, R. (2023). Penentuan Konstanta Isoterm Freundlich dan Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif Terhadap Asam Asetat. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 20(3), 2460–8203.
- Sylvia, N., Wijaya, Y. A., Masrullita, & Safriwardy, F. (2021). Efektivitas Karbon Aktif Kulit Singkong (*Manihot Esculenta* Crantz) terhadap Adsorpsi Ion Logam Fe dengan Aktivator NaOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 83–91.
- Wang, H., Fang, C., Wang, Q., Chu, Y., Song, Y., Chen, Y., & Xue, X. (2018). Sorption of Tetracycline on Biochar Derived from Rice Straw and Swine Manure. *RSC Advances*, 8(29), 16260–16268. <https://doi.org/10.1039/c8ra01454j>
- 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>

- Yulia, M., Ningtyas, K. R., & Suhandy, D. (2021). Penggunaan UV-Vis Spektroskopi dan Kemometrika untuk Uji Keaslian Kopi Codot Lampung. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(4), 479–489. <https://doi.org/10.18343/jipi.26.4.479>
- Zanoni, I., Briccolani, L., Faccani, L., Blosi, M., Ortelli, S., Crosera, M., Marussi, G., Albonetti, S., & Costa, A. L. (2025). Characterization of polyethylene and polyurethane microplastics and their adsorption behavior on Cu<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> in environmental matrices. *Environmental Sciences Europe*, 37(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-025-01061-5>
- Zvekic, 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

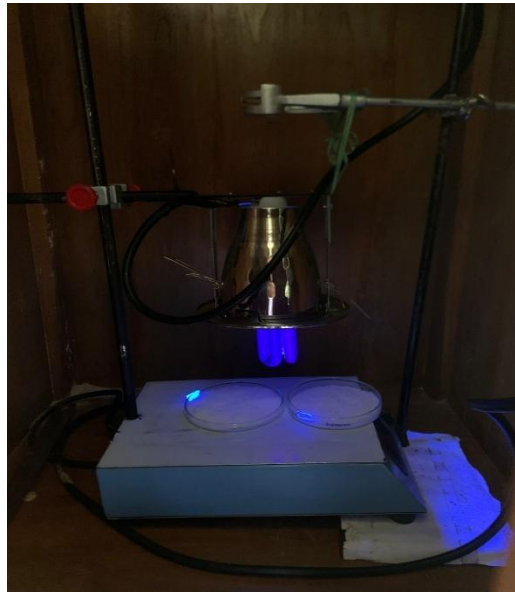
### Lampiran 1. Kurva Larutan Standar

Data Kurva Standar				
Konsentrasi (mg/L)	Absorbans (y)	Intersep	Slope	x
0	0.000	0.0066	0.0013	0
1	0.007	0.0066	0.0013	0.864
2	0.014	0.0066	0.0013	1.924
3	0.022	0.0066	0.0013	3.136
4	0.028	0.0066	0.0013	4.045
5	0.036	0.0066	0.0013	5.258
6	0.043	0.0066	0.0013	6.318
7	0.047	0.0066	0.0013	6.924
8	0.055	0.0066	0.0013	8.136
9	0.059	0.0066	0.0013	8.742
10	0.066	0.0066	0.0013	9.803



## Lampiran 2. Dokumentasi Penelitian

### 1. Proses *Aging* Mikroplastik LDPE



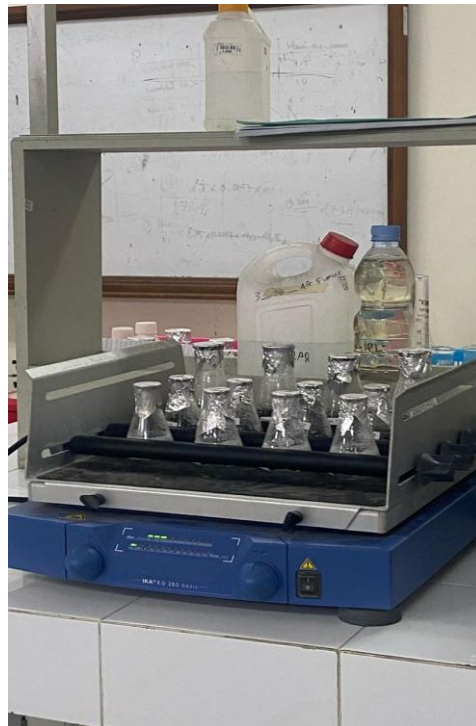
### 2. Proses Penimbangan Mikroplastik menggunakan Neraca Analitik



3. Proses Penyaringan Larutan *Tetracycline* setelah Proses Adsorpsi



4. Proses *Shaker* Percobaan Adsorpsi selama 24 Jam



5. Foto Hasil Penyaringan Larutan *Tetracycline*



## **RIWAYAT HIDUP**



Penuis laporan tugas akhir ini bernama Khuzeiv Syauqanil Iqra yang merupakan anak dari Bapak Ermi Johan dan Ibu Sutra Dewie. Penulis menempuh pendidikan menengah terakhir di MAN 1 Teluk Kuantan. Kemudian penulis melanjutkan studi pendidikan tinggi pada tahun 2021 di Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.