



JURUSAN
TEKNIK LINGKUNGAN

TUGAS AKHIR

Adsorpsi Antibiotik *Tetracycline* (TTC) pada Mikroplastik *Polypropylene* (PP)

Puti Ayu Maharani

21513089

Dosen Pembimbing:

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

Program Studi Teknik Lingkungan Program Sarjana

Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Universitas Islam Indonesia

2025



DEPARTMENT
ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BACHELOR THESIS

Adsorption of *Tetracycline* Antibiotics (TTC) on *Polypropylene* (PP) Microplastics

Puti Ayu Maharani

21513089

Supervisor:

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

Environmental Engineering Bachelor Program

Faculty of Civil Engineering and Planning

Universitas Islam Indonesia

2025

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

Adsorpsi Antibiotik *Tetracycline* (TTC) pada Mikroplastik *Polypropylene* (PP)

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.

Puti Ayu Maharani

20513089

Tugas akhir ini telah diuji pada tanggal 19 September 2025 dan disetujui oleh:

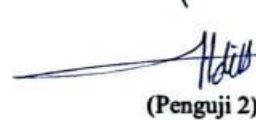
Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

 19/9/25
(Pembimbing)

Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.E.S., Ph.D., I.P.U.

 19/9/2025
(Penguji 1)

Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng.

 19/9/25
(Penguji 2)


Mengetahui,
Ketua Prodi Teknik Lingkungan Program Sarjana
 19/9/25
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, 13 September 2025

Yang membuat pernyataan,



Puti Ayu Maharani

21513089

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga Laporan Tugas Akhir dengan judul “Adsorpsi Antibiotik *Tetracycline* (TTC) pada Mikroplastik *Polypropylene* (PP)” ini dapat dikerjakan dan disusun sebaik mungkin.

Penyusunan laporan penelitian ini dilaksanakan sebagai pemenuhan kewajiban menyelesaikan tugas akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Islam Indonesia.

Kelancaran Kegiatan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak. Oleh karena itu, penulis ucapkan terimakasih kepada segenap pihak yang telah membantu:

1. Allah SWT yang telah melimpahkan segala bentuk kebaikan, nikmat-Nya, pentunjuknya-Nya dan kemudiannya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Orang tua yang paling berjasa dalam hidup penulis, yaitu papa Muhamad Sil (Alm) dan Mama Sri Rahayu karena telah memberikan kepercayaan untuk melanjutkan pendidikan kuliah, kasih sayang, doa yang tidak pernah hentinya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ketiga kakak penulis yaitu Sujiyanti Kassiavera, Novri Medyo Belli dan Wahyuni Sukanti yang selalu memberikan dukungan, serta memotivasi penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ibu Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan saran terhadap penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
5. Bapak Prof. Ir. Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D. , I.P.U. selaku dosen penguji 1 dan Bapak Dr. Joni Aldilla Fajri, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji 2 yang telah saran dan masukan dalam menyelesaikan penulisan tugas akhir ini.
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang telah mendidik dan memberikan ilmu yang bermanfaat.

7. Mbak Rina, Mbak Tika dan Mas Iwan dan seluruh laboran Kualitas Lingkungan FTSP yang banyak membantu dalam pengerjaan dan arahan dalam melakukan penelitian ini.
8. Kepada semua anggota “Inshaa Allah Berkah” yaitu Dinda, Dwi, Rika, Mutia dan Andriani yang telah bersahabat dari masa SMP hingga sekarang dan juga banyak membantu mendukung penulis hingga saat ini.
9. Kepada semua anggota “Wacana” yaitu Raina, Indah, Tsabita dan Kendra yang telah banyak membantu mendukung, menemani, dan menolong penulis selama kuliah hingga dalam pengerjaan tugas akhir ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu memberikan pemikiran demi kelancaran dan keberhasilan penyusunan skripsi ini.

Sleman, 13 September 2025



Puti Ayu Maharani

Adsorpsi Antibiotik *Tetracycline* (TTC) pada Mikroplastik *Polypropylene* (PP)

Mahasiswa : Puti Ayu Maharani
NIM : 21513089
Program Studi : Teknik Lingkungan - Program Sarjana
Pembimbing : Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Abstrak

Tetracycline merupakan antibiotik yang banyak digunakan pada bidang medis, peternakan, dan perikanan. Senyawa ini berpotensi berinteraksi dengan mikroplastik dan menjadi salah satu faktor yang memengaruhi kualitas lingkungan perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan mikroplastik polypropylene (PP) sebelum fotodegradasi dan sesudah fotodegradasi (Foto_PP) dalam mengadsorpsi antibiotik tetracycline (TTC). Proses fotodegradasi dilakukan selama 7 hari menggunakan paparan sinar ultraviolet (UV), sedangkan karakterisasi permukaan adsorben dianalisis menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) untuk melihat morfologi permukaan dan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) untuk mendeteksi perubahan gugus fungsi. Uji adsorpsi dilakukan dengan metode batch menggunakan variasi pH (3, 5, 7, 9), konsentrasi larutan TTC (20–50 mg/L), dan waktu kontak (10–1440 menit). Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses fotodegradasi meningkatkan porositas dan pembentukan gugus oksigen pada permukaan PP, sehingga kapasitas adsorpsi TTC meningkat signifikan. Efisiensi adsorpsi tertinggi diperoleh pada Foto_PP sebesar 54,76%, sedangkan pada PP hanya 30,58%. Kondisi optimum dicapai pada pH 5, konsentrasi 20 mg/L, dan waktu kontak 1440 menit. Model isoterm Langmuir menunjukkan kecocokan terbaik untuk Foto_PP dengan kapasitas maksimum adsorpsi ($q_{\max}$) sebesar 3,842 mg/g. Sementara itu, analisis kinetika mengikuti model pseudo-second order dengan $R^2 > 0,98$, yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi didominasi oleh interaksi kimia.

Kata kunci: Adsorpsi, Antibiotik, Fotodegradasi, Mikroplastik

Adsorption of *Tetracycline* Antibiotics (TTC) on *Polypropylene* (PP) Microplastics

Student : Puti Ayu Maharani
Student Number : 21513089
Study Program : Environmental Engineering – Bachelor Program
Supervisor : Puji Lestari, S.Si., M.Sc., Ph.D.

Abstract

Tetracycline is an antibiotic widely used in medicine, animal husbandry, and fisheries. This compound has the potential to interact with microplastics and is one of the factors affecting water quality. This study aims to investigate the ability of polypropylene (PP) microplastics before photodegradation and after photodegradation (Photo_PP) to adsorb tetracycline (TTC). The photodegradation process was conducted over 7 days using ultraviolet (UV) light exposure, while surface characterisation of the adsorbent was analysed using Scanning Electron Microscopy (SEM) to observe surface morphology and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) to detect changes in functional groups. The adsorption test was performed using the batch method with variations in pH (3, 5, 7, 9), TTC solution concentration (20–50 mg/L), and contact time (10–1440 minutes). The results showed that the photodegradation process increased the porosity and formation of oxygen groups on the PP surface, thereby significantly increasing the TTC adsorption capacity. The highest adsorption efficiency was achieved in Photo_PP at 54.76%, while in PP it was only 30.58%. Optimum conditions were achieved at pH 5, concentration 20 mg/L, and contact time 1440 minutes. The Langmuir isotherm model showed the best fit for Photo_PP with a maximum adsorption capacity ($q_{\max}$) of 3.842 mg/g. Meanwhile, kinetic analysis followed the pseudo-second-order model with $R^2 > 0.98$, indicating that the adsorption process was dominated by chemical interactions.

Keywords: Adsorption, Antibiotics, Photodegradation, Microplastics

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Plastik	5
2.1.1 Plastik Jenis <i>Polypropylene</i> (PP)	5
2.2 Mikroplastik	6
2.3 Fotodegradasi Mikroplastik	7
2.4 <i>Tetracycline</i> (TTC)	7
2.5 Adsorpsi	8
2.5.1 Jenis Adsorpsi	9
2.5.2 Metode Adsorpsi	9
2.6 Penelitian Terdahulu	10
BAB III METODE PENELITIAN	15
3.1 Waktu dan Lokasi	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.2.1 Alat	15
3.2.2 Bahan	15
3.3 Prosedur Penelitian	16

3.3.1	Fotodegradasi Mikroplastik <i>Polypropylene</i> (PP)	16
3.3.2	Pembuatan Konsentrasi larutan <i>Tetracycline</i> (TTC)	17
3.3.3	Percobaan Adsorpsi	18
3.4	Isoterm Adsorpsi	20
3.4.1	Isoterm Langmuir	20
3.4.2	Isoterm Freundlich	21
3.5	Kinetika Adsorpsi	22
3.5.1	Pseudo – first order	22
3.5.2	Pseudo - second order	23
3.6	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM)	23
3.7	<i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		25
4.1	Fotodegradasi	25
4.2	Karakterisasi Adsorben	27
4.2.1	Scanning Electron Microscope (SEM)	27
4.2.2	Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	29
4.3	Pengujian Kemampuan Adsorpsi	31
4.3.1	Pengujian Variasi pH	32
4.3.2	Pengujian Variasi Konsentrasi	33
4.3.3	Pengujian Variasi Waktu	35
4.4	Isotherm Adsorpsi	37
4.4.1	Isoterm Langmuir	37
4.4.2	Isoterm Freundlich	39
4.4.3	Penentuan Model Isoterm Adsorpsi	40
4.5	Kinetika Adsorpsi	42
4.5.1	<i>Pseudo-First Order</i>	42
4.5.2	<i>Pseudo-Second Order</i>	44
4.5.3	Penentuan Model Kinetika Adsorpsi	45
BAB V PENUTUP		47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	48

DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	53
RIWAYAT HIDUP	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	11
Tabel 4.1 Daerah Gugus Fungsi pada FTIR	30
Tabel 4.2 Persamaan Isotherm Langmuir	38
Tabel 4.3 Persamaan Isotherm Freundlich	39
Tabel 4.4 Perbandingan Mekanisme Adsorpsi Isotherm Langmuir dan Isotherm Freundlich	40
Tabel 4.5 Persamaan <i>Pseudo-First Order</i>	43
Tabel 4.6 Persamaan <i>Pseudo-Second Order</i>	44
Tabel 4.7 Perbandingan Mekanisme Adsorpsi <i>Pseudo-First Order</i> dan <i>Pseudo-Second Order</i>	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Biji Plastik <i>Polypropylene</i> (PP)	6
Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian	16
Gambar 3.2 Diagram Alir Fotodegradasi Mikroplastik <i>Polypropylene</i>	17
Gambar 3.3 Diagram Alir Uji Variasi pH	18
Gambar 3.4 Diagram Alir Uji Variasi Konsentrasi	19
Gambar 3.5 Diagram Alir Uji Variasi waktu	20
Gambar 3.6 Skema Alat FTIR	24
Gambar 4.1 Fotodegradasi Mikroplastik <i>Polypropylene</i>	25
Gambar 4.2 Dokumentasi Mikroplastik <i>Polypropylene</i>	26
Gambar 4.3 Morfologi <i>Polypropylene</i> berdasarkan SEM	28
Gambar 4.4 Grafik Hasil Uji FTIR	32
Gambar 4.5 Grafik Efisiensi Adsorpsi <i>Tetracycline</i> (TTC) terhadap Variasi pH	34
Gambar 4.6 Grafik Efisiensi Adsorpsi <i>Tetracycline</i> (TTC) terhadap Variasi Konsentrasi	34
Gambar 4.7 Grafik Efisiensi Adsorpsi <i>Tetracycline</i> (TTC) terhadap Variasi Waktu	34
Gambar 4.12 Grafik Plot Persamaan Isoterm Langmuir	38
Gambar 4.13 Grafik Plot Persamaan Isoterm Freundlich	39
Gambar 4.14 Grafik Plot <i>Pseudo-First Order</i>	43
Gambar 4.15 Grafik Plot <i>Pseudo-Second Order</i>	44

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Perhitungan	53
Lampiran 2	Data Karakteristik FTIR	54
Lampiran 3	Dokumentasi	571

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan sampah merupakan isu global yang tidak hanya dihadapi oleh Indonesia, tetapi juga oleh seluruh negara di dunia. Berdasarkan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) pada tahun 2024 timbulan sampah yang ada di Indonesia yaitu 34,6 juta ton dengan salah satu jenis sampah yang paling banyak ditemui adalah limbah plastik yaitu 19,75% yaitu 6,80 juta ton. Limbah plastik ini menjadi masalah besar karena sangat sulit terurai di dalam tanah dan membutuhkan waktu ratusan tahun untuk bisa hancur.

Salah satu jenis plastik yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah *polypropylene* (PP). Plastik ini sering dijumpai pada produk seperti botol minuman, wadah makanan, peralatan laboratorium, dan lain-lain karena memiliki sifat ringan, jernih, tidak mudah pecah, serta tahan terhadap panas dan bahan kimia, sehingga menjadi pilihan populer untuk kemasan makanan dan minuman (Erawati & Huda, 2023). Namun, di balik kelebihanannya, *polypropylene* memiliki kelemahan utama yaitu sulit terurai secara alami. Hal ini menjadikan pengelolaan limbah *polypropylene* sebagai tantangan besar dalam menjaga kelestarian lingkungan. Paparan sinar ultraviolet dapat memicu proses fotodegradasi pada *polypropylene*, yang menyebabkan plastik ini terpecah menjadi fragmen berukuran lebih kecil, dikenal sebagai mikroplastik.

Mikroplastik merupakan plastik berukuran kecil yaitu <5 mm. Berdasarkan asalnya, mikroplastik dibagi menjadi dua jenis utama yaitu mikroplastik primer dan mikroplastik sekunder. Mikroplastik primer adalah partikel yang sengaja diproduksi dalam ukuran kecil untuk tujuan tertentu, seperti dalam produk kosmetik atau industri lainnya. Sebaliknya, mikroplastik sekunder terbentuk akibat penguraian plastik berukuran besar melalui proses fisik, kimia, atau paparan lingkungan (Sutanhaji et al., 2021). Adapun dampak yang dapat ditimbulkan

mikroplastik jika terdapat dalam tubuh organisme dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, seperti memicu rasa kenyang semu, menyebabkan stres, mengganggu sistem reproduksi, serta berpotensi bersifat toksik (Azizi et al., 2025). Selain itu, mikroplastik dapat berperan sebagai vektor bagi zat-zat kimia yang dapat berupa tetracycline, yang dapat teradsorpsi oleh permukaan mikroplastik dan kemudian ditransfer ke organisme yang mengonsumsinya (Amanu et al., 2024).

Tetracycline (TTC) merupakan salah satu antibiotik yang paling sering digunakan di seluruh dunia, baik dalam pengobatan manusia dan hewan, sebagai penambah pertumbuhan hewan, maupun untuk pencegahan penyakit. Indikasi penggunaan tetracycline bagi manusia meliputi penyakit menular seperti pneumonia, infeksi tulang dan sendi, gangguan kulit yang disebabkan oleh infeksi (Amangelsin et al., 2023). Adapun contoh merek obat yang terdapat kandungan tetracycline adalah Tetracycline HCl, Bufacyn, Bufatetra, Decyclin, xybiotic, Oxytetracycline, Oxytetracycline HCL, dan lain - lain.

Meskipun bermanfaat, penggunaan tetracycline yang masif menyebabkan tingginya residu senyawa ini di lingkungan. Hal ini disebabkan sebagian besar tetracycline yang dikonsumsi oleh manusia dan hewan tidak dapat diserap dan dimetabolisme secara sempurna. Akibatnya, sekitar 75% dari dosis yang diberikan akan diekskresikan dalam bentuk aslinya dan mencemari lingkungan yang dapat masuk ke perairan (Amangelsin et al., 2023). karena mampu bertahan dalam berbagai kondisi dan mudah diserap oleh mikroplastik. Mikroplastik, yang terbentuk dari degradasi plastik, memiliki ukuran kecil dan luas permukaan yang besar, sehingga berpotensi menyerap berbagai polutan dalam perairan, termasuk antibiotik tetracycline. Mikroplastik yang terkontaminasi dapat tertelan secara tidak sengaja oleh ikan dan hewan lain, sehingga berkontribusi pada akumulasi polutan dalam rantai makanan dan memperburuk dampak terhadap ekosistem (Chen et al., 2021).

Masalah yang ada mengindikasikan bahwa mikroplastik, terutama jenis polypropylene, memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi zat-zat berbahaya seperti tetracycline, yang berpotensi menimbulkan dampak negatif serius terhadap lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi

mengenai mekanisme adsorpsi tetracycline pada mikroplastik polypropylene. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi dasar untuk upaya mitigasi pencemaran mikroplastik serta membantu dalam pengembangan strategi pengelolaan lingkungan yang lebih efektif. Penelitian ini berfokus pada mekanisme adsorpsi tetracycline oleh mikroplastik polypropylene yang berpotensi masuk ke rantai makanan dan membahayakan kesehatan manusia.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik mikroplastik jenis *polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP) dan *polypropylene* sesudah proses fotodegradasi (Foto_PP)?
2. Bagaimana pengaruh variasi seperti pH, Waktu, dan konsentrasi terhadap adsorpsi *tetracycline* pada mikroplastik jenis *polypropylene*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ialah sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis karakteristik mikroplastik jenis *polypropylene* sebelum dan sesudah proses fotodegradasi.
2. Untuk menganalisis berbagai variasi seperti pH, waktu, dan konsentrasi terhadap proses adsorpsi *tetracycline* (TTC) pada mikroplastik jenis *polypropylene*.

1.4 Manfaat Penelitian

Terdapat beberapa manfaat penelitian, ialah sebagai berikut :

1. Hasil penelitian dapat memberikan data empiris yang dapat digunakan untuk mengkaji risiko pencemaran mikroplastik yang teradsorpsi *tetracycline* (TTC) terhadap lingkungan dan kesehatan.

2. Penelitian ini dapat meningkatkan kesadaran masyarakat mengenai bahaya mikroplastik dan polutan seperti *tetracycline*, serta pentingnya pengelolaan limbah plastik yang baik.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini, ialah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP UII
2. Metode yang digunakan pada penelitian adalah adsorpsi
3. Pada plastik jenis *polypropylene* (PP) dilakukan metode fotodegrasi
4. Parameter uji *tetracycline* (TTC) yang digunakan berupa sintesis
5. Variasi yang dilakukan untuk kondisi optimum pada adsorpsi *tetracycline* (TTC) pada mikroplastik jenis *polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP) dan *polypropylene* setelah fotodegradasi (Foto_PP) ialah pH, waktu, dan konsentrasi
6. Pengujian karakteristik gugus fungsi adsorben menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)
7. Analisa tampak permukaan adsorben menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Plastik

Plastik merupakan salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi atau proses penggabungan molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer) (Lubis, 2021). Berdasarkan sifatnya, untuk penggolongan plastik ada dua jenis yaitu (Aziz & Rante, 2021) :

1. Plastik termoset adalah jenis plastik yang tidak dapat dilelehkan atau dibentuk ulang setelah mengalami proses pencetakan pada material tertentu. Beberapa contoh dari plastik termoset meliputi *phenol formaldehyde*, *urea formaldehyde*, dan *melamine formaldehyde*.
2. Plastik termoplastik merupakan jenis plastik yang dapat dipanaskan kembali sehingga bisa dilelehkan dan dibentuk menjadi material lain. Jenis plastik ini banyak digunakan dalam industri, dengan contoh antara lain *polyethylene*, *polycarbonate*, dan *polypropylene*.

Pada penelitian ini, jenis plastik yang digunakan adalah plastik *polypropylene* yang termasuk ke dalam kelompok plastik termoplastik.

2.1.1 Plastik Jenis *Polypropylene* (PP)

Polypropylene (PP) merupakan polimer hidrokarbon yang termasuk ke dalam kelompok termoplastik. Jenis plastik ini dapat diproses pada suhu tinggi serta memiliki karakteristik kuat, ringan, berdaya tembus uap rendah, dan stabil terhadap temperatur tinggi (Aziz & Rante, 2021). *Polypropylene* mempunyai titik leleh yang cukup tinggi antara 190-200 °C, sedangkan titik kristalisasinya antara 130-135°C (Muhammad et al., 2021). Adapun contoh biji plastik jenis *polypropylene* yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Biji Plastik *Polypropylene* (PP)

Berdasarkan gambar 2.1 *polypropylene* memiliki tampilan bening namun sedikit buram karena warnanya tidak terlalu mencolok. *Polypropylene* mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia (*chemical resistance*) yang tinggi terhadap pelarut kimia, basa dan asam, tetapi ketahanan pukul (*impact strenght*) yang rendah (Muhammad et al., 2021). *Polypropylene* banyak digunakan dalam kemasan produk minuman dan dianggap lebih aman contohnya seperti botol, ember, wadah makanan, sedotan plastik dan gelas instrument steril yang sering digunakan dilingkungan medis. *Polypropylene* ini ditandai dengan simbol segitiga yang memiliki angka 5 di tengahnya (Jasmine & Loen, 2020).

2.2 Mikroplastik

Mikroplastik adalah partikel yang berasal dari polimer plastik dan terbagi menjadi lima jenis berdasarkan bentuknya, yaitu fiber, filamen, fragmen, foam, dan granule. Berdasarkan ukurannya, mikroplastik juga dikelompokkan menjadi dua jenis: ukuran besar (1-5 mm) dan ukuran kecil (<1 mm). Pembentukan mikroplastik terjadi melalui proses perombakan struktur secara fisik atau kimiawi yang disebabkan oleh paparan sinar matahari, oksidasi termal, atau aktivitas mikroorganisme (Wicaksono et al., 2021). Keberadaan mikroplastik pertama kali ditemukan sekitar tahun 1970. Menurut Lusher dan Peter, mikroplastik dapat ditemukan di berbagai lingkungan, seperti udara, tanah, perairan tawar, maupun laut (Lutfi et al., 2023). Penyebaran mikroplastik di lingkungan berpotensi

membahayakan ekosistem karena sifat plastik yang persisten dan kemampuannya menyerap polutan beracun. Selain itu, mikroplastik mengandung senyawa yang bersifat toksik dan karsinogenik, yang dapat mengganggu keseimbangan lingkungan perairan dan menimbulkan dampak negatif bagi organisme di sekitarnya (Wicaksono et al., 2021).

2.3 Fotodegradasi Mikroplastik

Fotodegradasi pada mikroplastik dapat memengaruhi morfologi permukaan, ukuran, gugus fungsi, dan tingkat kristalinitasnya. Seiring waktu, proses fotodegradasi ini juga dapat mengubah pola interaksi antara mikroplastik dengan antibiotik, sehingga mekanisme penyerapan antibiotik menjadi lebih kompleks (Wang et al., 2024). Fotodegradasi memicu reaksi kimia yang memecah rantai polimer plastik, menghasilkan permukaan yang lebih kasar dan gugus fungsional baru. Proses ini tidak hanya meningkatkan kemampuan mikroplastik untuk menyerap polutan, tetapi juga mempercepat fragmentasi mikroplastik menjadi partikel yang lebih kecil, sehingga memengaruhi interaksinya dengan bahan lain di lingkungan, seperti polutan atau senyawa kimia (antibiotik) dan memperburuk penyebaran zat berbahaya.

2.4 *Tetracycline* (TTC)

Antibiotik adalah senyawa yang dihasilkan oleh mikroorganisme dan memiliki kemampuan untuk menghambat atau memusnahkan pertumbuhan mikroorganisme lainnya. Salah satu jenis antibiotik adalah golongan bakteristatik, yang berfungsi menghentikan pertumbuhan bakteri guna mencegah penyebaran infeksi. TTC, yang termasuk dalam kelompok ini, kerap digunakan oleh masyarakat untuk mengobati berbagai infeksi bakteri (Husnani et al., 2020). TTC dikenal sebagai salah satu antibiotik yang mulai digunakan pada tahun 1948 untuk mengatasi berbagai infeksi mikroba, seperti klamidia, sifilis, kolera, penyakit Lyme, dan pneumonia. Antibiotik ini menjadi salah satu yang paling sering digunakan di dunia, menempati posisi kedua dalam hal frekuensi penggunaan (Anbarani et al., 2023).

2.5 Adsorpsi

Adsorpsi adalah fenomena yang terjadi di permukaan akibat akumulasi suatu spesies di batas antara padat dan cair. Proses ini dapat berlangsung karena adanya gaya tarik-menarik, dan terdapat dua jenis adsorpsi, yaitu adsorpsi fisik (*Van der Waals*) dan adsorpsi kimia (Widayatno et al., 2017). Apabila adsorbat dan permukaan adsorben berikatan hanya melalui gaya *Van der Waals*, maka yang terjadi adalah adsorpsi fisik atau adsorpsi *Van der Waals*. Dalam adsorpsi ini, molekul yang menempel di permukaan terikat secara lemah sehingga prosesnya bersifat dapat balik (*reversibel*). Adsorpsi ini tidak terjadi pada lokasi (*site*) tertentu, melainkan molekul-molekul yang teradsorpsi menyebar di permukaan. Sedangkan adsorpsi kimia terjadi ketika molekul yang teradsorpsi bereaksi secara kimia dengan permukaan adsorben. Proses ini bersifat tidak dapat balik (*irreversibel*) karena interaksi potensial yang kuat. Adsorpsi kimia juga memerlukan lokasi tertentu di permukaan, sehingga molekul hanya dapat teradsorpsi pada titik-titik spesifik tersebut (Yustinah. et al., 2019).

Kinetika adsorpsi menggambarkan kecepatan perpindahan molekul dari larutan ke dalam pori-pori adsorben. Proses adsorpsi melibatkan tiga mekanisme utama, yaitu:

1. Molekul-molekul zat yang akan diserap bergerak dari sebagian besar larutan menuju permukaan luar adsorben. Tahap ini dikenal sebagai difusi film atau difusi eksternal.
2. Molekul-molekul tersebut kemudian bergerak lebih dalam, dari permukaan adsorben menuju area di dalam pori-pori. Proses ini disebut difusi pori.
3. Molekul-molekul yang diadsorpsi akhirnya melekat pada permukaan partikel adsorben. Tahap ini dipengaruhi oleh berbagai faktor dalam adsorpsi fisik.

Selama proses adsorpsi antara adsorben dan adsorbat, terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan, seperti karakteristik fisik dan kimia adsorben dan adsorbat, konsentrasi adsorbat dalam larutan, suhu, pH, serta waktu kontak. Di antara faktor-faktor tersebut, pH memiliki peran yang paling penting karena pH

mengatur distribusi muatan pada permukaan adsorben terhadap ion-ion adsorbat (Abas et al., 2013).

2.5.1 Jenis Adsorpsi

Ada dua jenis adsorpsi berdasarkan penyerapannya, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia (Karim et al., 2017):

1. Adsorpsi fisika bersifat reversibel, berlangsung cepat, dan melibatkan interaksi gaya van der Waals dengan kalor penyerapan yang relatif kecil, umumnya terjadi pada suhu rendah. Proses ini menunjukkan kesetimbangan dinamis, di mana reaksi dapat berlangsung dua arah bolak-balik tanpa henti karena komponen zat tidak pernah habis.
2. adsorpsi kimia melibatkan pembentukan ikatan kimia, memerlukan energi aktivasi, dan prosesnya cenderung lebih lambat serta sulit diregenerasi. Reaksi pada adsorpsi kimia bersifat satu arah, artinya produk reaksi tidak dapat kembali menjadi reaktan awal, dan reaksi akan berhenti setelah salah satu atau semua reaktan habis.

2.5.2 Metode Adsorpsi

Pada proses adsorpsi dapat dilakukan dengan dua metode yaitu (Putri et al., 2019):

1. Metode dinamis (kontinu/kolom) merupakan adsorpsi yang dilakukan dengan melewati adsorben dan adsorbat secara terus menerus di dalam sebuah kolom. Metode ini banyak digunakan pada skala industri karena mampu memberikan efisiensi yang lebih tinggi, dapat diaplikasikan dalam proses berkesinambungan, serta memungkinkan pemantauan konsentrasi adsorbat pada setiap waktu. Namun, metode ini memerlukan desain peralatan yang lebih kompleks, waktu persiapan yang lebih lama, dan membutuhkan kontrol aliran yang konstan.
2. Metode statis (batch) merupakan adsorpsi yang berlangsung dengan mencampurkan adsorben dan adsorbat dalam suatu wadah tertutup tanpa adanya aliran masuk maupun keluar. Metode batch umumnya digunakan pada skala laboratorium karena prosedurnya lebih sederhana, mudah dikontrol, dan tidak memerlukan peralatan khusus. Selain itu, metode ini

memungkinkan penentuan parameter-parameter penting seperti kapasitas adsorpsi, waktu kesetimbangan, dan kinetika adsorpsi dengan lebih mudah.

Penelitian ini menggunakan metode adsorpsi sistem batch, di mana proses dilakukan pada beberapa gelas erlenmeyer yang berisi larutan adsorbat dengan konsentrasi dan volume tertentu. Variasi massa adsorben ditambahkan ke dalam masing-masing erlenmeyer, kemudian campuran dikocok selama waktu kontak yang telah ditetapkan untuk memastikan terjadinya interaksi optimal antara adsorben dan adsorbat. Setelah proses pengocokan selesai, larutan dipisahkan dan dianalisis untuk mengetahui konsentrasi adsorbat yang tersisa. Selisih antara konsentrasi awal dan akhir larutan digunakan untuk menentukan jumlah adsorbat yang berhasil teradsorpsi.

2.6 Penelitian Terdahulu

Adapun penelitian-penelitian terdahulu yang dapat digunakan sebagai rujukan dalam penelitian terkait studi adsorpsi *tetracycline* (TTC) pada mikroplastik jenis *polypropylene*. Beberapa hasil penelitian terdahulu ditunjukkan dalam Tabel 2.1

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Hasil Penelitian
1.	Aging microplastics enhances the adsorption of pharmaceuticals in freshwater.	Moura et al., 2024)	• Adsorben : polipropilen (PP), polietilen (PE), polietilen tereftalat (PET), poliamida (PA), polistiren (PS), dan pilivinil klorida (PVC). • Adsorbat : larutan yang mengandung obat-obatan (ibuprofen, carbamazepine, fluoxetine, venlafaxine, dan ofloxacin) • Ukuran partikel adsorben : kategori kecil <35 mg/L, dan kategori besar 95-157 mg/L. • Fotodegradasi : lampu 60 watt selama 72 jam dan diaduk setiap 24 jam. • Tidak ada variasi konsentrasi (yang digunakan 16 mg/L) • Tidak ada ada variasi pH (yang digunakan pH 7) • Variasi waktu : 0, 25 menit, 1 jam, 2 jam, 4 jam, 6 jam, 10 jam, 24 jam dan 48 jam. Hasil Penelitian : - Efisiensi adsorpsi fluoxetine bervariasi menurut jenis dan ukuran mikroplastik, yaitu sebesar 18% pada PET berukuran besar dan mencapai 99% pada PP berukuran kecil.

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Hasil Penelitian
			- Adsorpsi lebih tinggi pada partikel kecil dibanding besar, namun efek penuaan lebih dominan dibandingkan ukuran.
2.	UV and chemical aging alter the adsorption behavior of microplastics for tetracycline	(Guo et al., 2023)	• Adsorben : PBAT (biodegradable), serta PS dan PE (non-biodegradable) • Adsorbat : Larutan <i>tetracycline</i> (TTC) • Fotodegradasi : menggunakan Kalium Persulfat ($K_2S_2O_8$) selama 12 hari bersuhu $70^{\circ}C$ dengan pergantian larutan setiap 12 jam lalu dikeringkan dengan oven selama 6 jam. • Variasi pH : 1, 3, 5, 7, 9, 11, dan 13 • Variasi Konsentrasi : 5, 10, 15, 20, 30, 40, dan 50 mg/L • Variasi Waktu : hingga 24 jam Hasil Penelitian : - PBAT sebelum Fotodegradasi 29,2% dan PBAT setelah Fotodegradasi 25,62%. (proses fotodegradasi lebih jelas terlihat pada PBAT dibandingkan PE dan PS) - pH optimum sebelum dan sesudah: pH 3-5 (PBAT dengan penyerapan PBAT), pH 3 (PE, dan PS)

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Hasil Penelitian
			- Konsentrasi optimum sebelum dan sesudah fotodegradasi: PE, PS dan PBAT yaitu 10 mg/L - Waktu kontak optimum sebelum dan sesudah fotodegradasi: PE, PS (10 jam) dan PBAT (6 jam). - Isoterm adsorpsi sebelum dan sesudah fotodegradasi pada PBAT, PE dan PS mengikuti model freundlich. - Kinetika adsorpsi sebelum dan sesudah fotodegradasi pada PBAT, PE dan PS yang sesuai adalah <i>pseudo-second order</i> - Kapasitas adsorpsi PBAT sebelum fotodegradasi 0,7980 mg/L dan setelah Fotodegradasi 1,2669 mg/L.
3.	Adsorption mechanism of arsenic(V) on aged polyethylene microplastics: Isotherms, kinetics and effect of environmental factors	(Yu et al., 2025)	• Adsorben : Polietilen (PE) • Adsorbat : Larutan arsenic • Fotodegradasi dengan UV: PE di rendam aquades dan diletakkan dibawah lampu UV (20 watt) selama 30 hari dan diaduk setiap 8 jam. • Variasi pH : 3, 5 dan 7 • Variasi Konsentrasi : 0,4, 1, 5, 10, dan 20 mg/L

No.	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Hasil Penelitian
			• Variasi waktu : 30, 60, 120, 240, 480, 720, 1440 dan 2880 menit. Hasil Penelitian : - Kristalinitas PE setelah adsorpsi arsenik : PE murni 26,7% (1 mg/L), PE setelah Fotodegradasi 39,2 % (0,23 mg/L). - Variasi pH maksimum : Adsorpsi PE murni dan Fotodegradasi yaitu pH 7 - Kinetika adsorpsi yang sesuai adalah <i>pseudo-second order</i> pada PE murni dan PE setelah Fotodegradasi dengan peningkatan 16,45 % dan 27,19% - Kosentrasi optimum terjadi pada kosentrasi 20 mg/L dengan PE setelah fotodegradasi yaitu 74,7%. - Hasil yang didapatkan bahwa MP yang telah mengalami fotodegradasi efsiensi adsorpsinya lebih besar dibandingkan MP sebelum fotodegradasi

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Lokasi

Lokasi penelitian ini dilakukan di laboratorium Kualitas Air, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (FTSP) Universitas Islam Indonesia selama 6 (enam) bulan untuk mengamati prosesnya dan pengumpulan data sehingga hasil yang didapat maksimal serta menjadi sumber penelitian.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Alat yang dipergunakan pada penelitian ini adalah :

- Penggiling baja (grinder) / blender
- Mesin penyaring otomatis dengan saringan baja tahan karat (100 mesh)
- Cawan petri
- Orbital shaker
- Filter membran (ukuran pori 0,45 μm)
- Aluminium foil
- Erlenmeyer (100 mL)
- Gelas ukur
- Pipet Ukur
- Spatula
- Timbangan analitik
- Spektrofotometer UV-vis
- *Scanning electron Microscope* (SEM)
- *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

3.2.2 Bahan

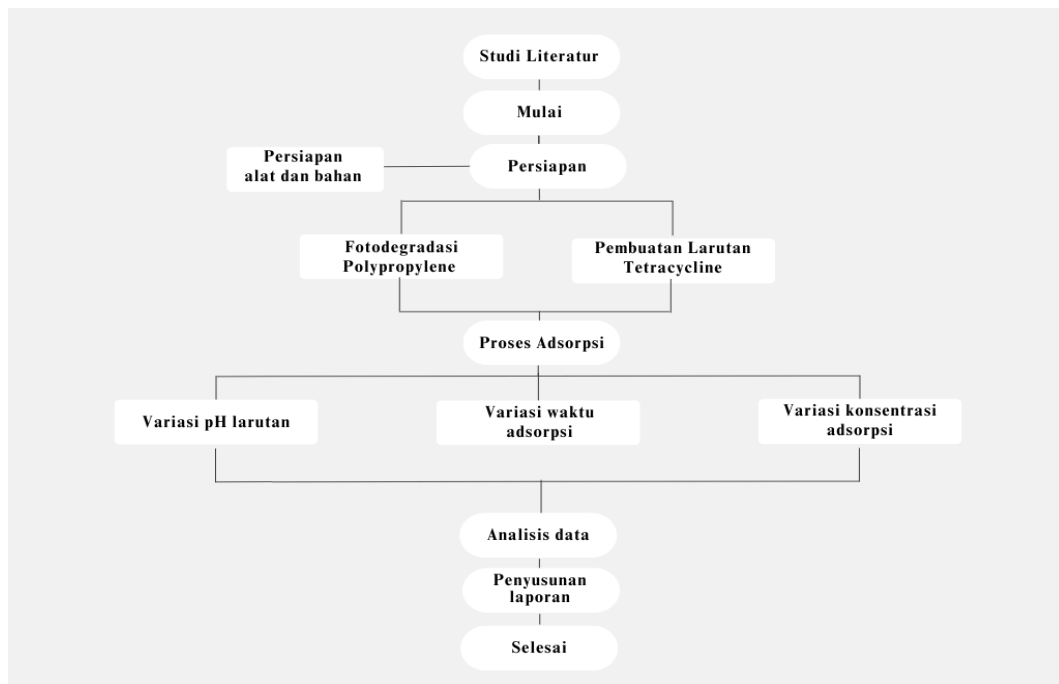
Bahan yang dipergunakan selama penelitian ini adalah :

- Biji plastik jenis *polypropylene* (PP)

- Larutan antibiotik *tetracycline* (TTC)
- NaOH dan larutan HCL 0,1 M (Pengatur pH)
- Aquades

3.3 Prosedur Penelitian

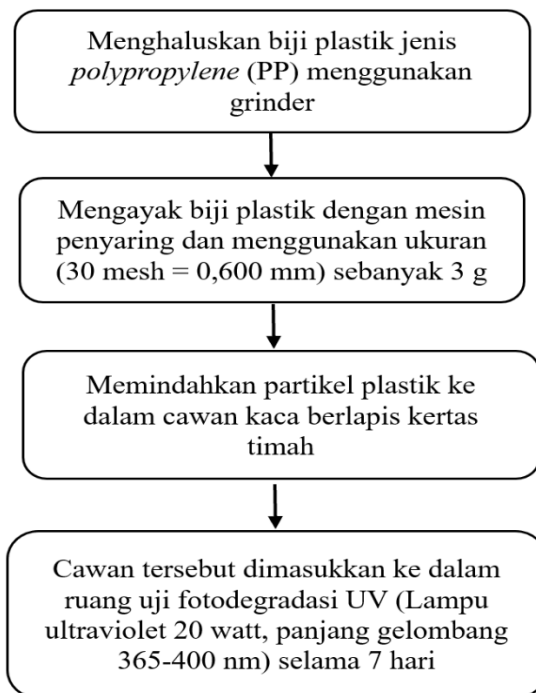
Penelitian dilakukan dengan melakukan uji eksperimen di Laboratorium Kualitas Air, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang berfokus pada pengujian Adsorpsi Antibiotik *Tetracycline* (TTC) pada Mikroplastik Jenis *Polypropylene*. Adapun diagram alir tahapan penelitian dtunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian

3.3.1 Fotodegradasi Mikroplastik *Polypropylene* (PP)

Proses fotodegradasi mikroplastik *polypropylene* ini dilakukan untuk mengkaji efek paparan sinar UV dalam mempercepat degradasi material plastik. Tahapan yang dilakukan mencakup penghalusan biji plastik, penyaringan dengan ukuran tertentu, pemindahan partikel plastik ke dalam wadah uji, serta paparan terhadap sinar UV dalam kondisi yang terkontrol selama periode tertentu. Tahapan pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Diagram Alir Fotodegradasi Mikroplastik *Polypropylene* (PP)

3.3.2 Pembuatan Konsentrasi larutan *Tetracycline* (TTC)

Ketika melakukan percobaan adsorpsi antibiotik TTC, diperlukan larutan TTC untuk pengujian variasi pH, waktu, dan konsentrasi. Pembuatan larutan TTC dimulai dengan menyiapkan larutan stok berkonsentrasi (1000 mg/L = 1 g/L). Timbang sebanyak 1 g TTC menggunakan timbangan analitik, lalu larutkan dalam 1 L aquades hingga homogen. Jika diperlukan larutan TTC dengan konsentrasi tertentu, volume larutan stok yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan (1) berikut:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \quad (1)$$

Dimana :

C_1 = Konsentrasi larutan stok (mg/L)

V_1 = Volume larutan stok yang diperlukan (mL)

C_2 = Konsentrasi larutan yang diinginkan (mg/L)

V_2 = Volume akhir larutan (mL)

Setelah menghitung volume larutan stok (V_1) untuk menentukan konsentrasi larutan yang diinginkan, pipetlah volume larutan stok tersebut

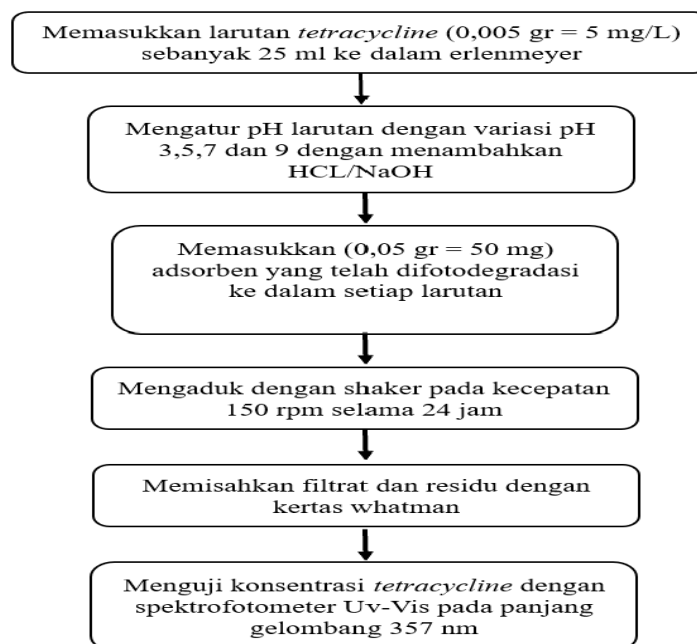
menggunakan pipet ukur, lalu masukkan ke dalam Erlenmeyer berkapasitas 100 mL. Tambahkan aquades hingga mencapai volume akhir (V_2), kemudian dihomogenkan hingga larut.

3.3.3 Percobaan Adsorpsi

Dalam percobaan adsorpsi, dilakukan pengujian terhadap variasi pH, konsentrasi tetracycline, dan waktu kontak untuk menentukan kondisi optimal dalam proses penyerapan. Adsorben yang digunakan dalam penelitian ini adalah plastik jenis *polypropylene* (PP) yang telah mengalami proses fotodegradasi, dengan jumlah sebesar 0,05 g (Zhao et al., 2024).

A. Pengujian Variasi pH

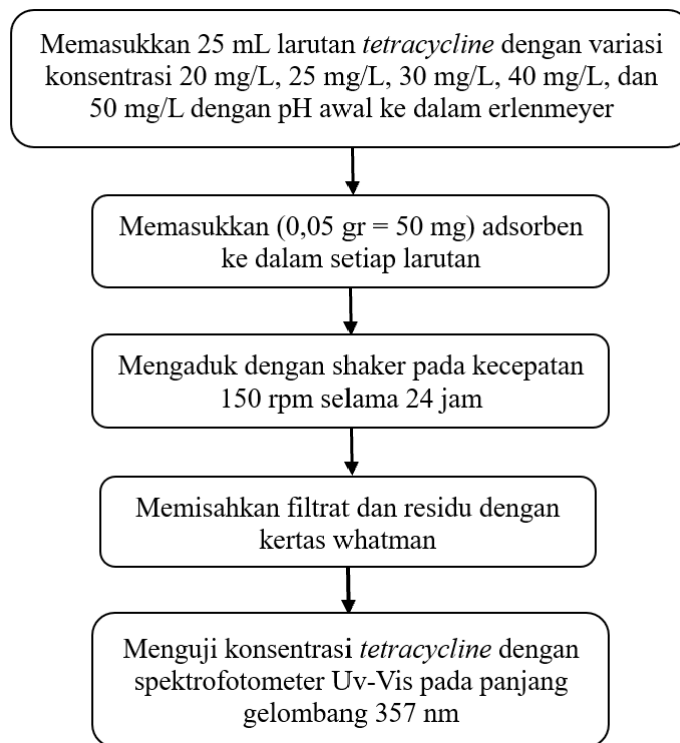
Uji variasi pH larutan dilakukan untuk mengetahui pH optimal bagi adsorben dalam menyerap larutan serta mengevaluasi pengaruh pH terhadap proses penyerapan. Adsorben yang digunakan adalah plastik jenis *polypropylene*. Tahapan pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram Alir Uji Variasi pH

B. Pengujian variasi konsentrasi Tetracycline (TTC)

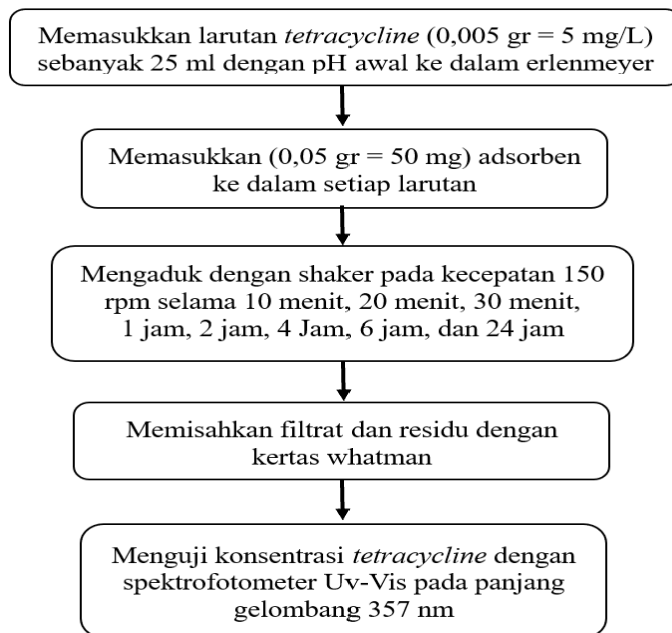
Uji variasi konsentrasi TTC yang digunakan dalam penelitian ini meliputi 20 mg/L, 25 mg/L, 30 mg/L, 40 mg/L, dan 50 mg/L, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan konsentrasi terhadap proses adsorpsi. Tahapan pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Diagram Alir Uji Variasi Konsentrasi

C. Pengujian Variasi waktu

Variasi waktu adsorpsi TTC meliputi 10 menit, 20 menit, 30 menit, 1 jam, 2 jam, 4 jam, 6 jam, dan 24 jam untuk menentukan waktu kontak optimal, mengevaluasi kinerja adsorben, dan mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan penyerapan. Tahapan pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.5



Gambar 3.5 Diagram Alir Uji Variasi waktu

3.4 Isoterm Adsorpsi

Persamaan Langmuir dan Freundlich adalah dua model yang digunakan untuk menjelaskan proses adsorpsi, namun keduanya memiliki ciri khas yang berbeda.

3.4.1 Isoterm Langmuir

Persamaan isoterm Langmuir dikembangkan berdasarkan pendekatan kinetika, dengan asumsi bahwa kesetimbangan tercapai ketika laju adsorpsi sama dengan laju desorpsi pada permukaan adsorben. Bentuk persamaan isoterm Langmuir ditunjukkan pada Persamaan (2) (Siswoyo et al., 2014).

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{K_L \cdot q_m} \quad (2)$$

Keterangan :

C_e :Konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L)

q_e :Jumlah zat yang diadsorpsi pada kesetimbangan (mg/g)

q_m dan K_L :Konstanta langmuir yang terkait dengan kapasitas adsorpsi dan energi adsorpsi

Setelah menghitung dengan menggunakan persamaan (2), kemudian dilanjutkan dengan membuat grafik isoterm langmuir dengan memplotkan nilai C_e/q_e (g/L) terhadap C_e (mg/L). Dari grafik ini, nilai q_m (kapasitas maksimum adsorpsi) dan K_L (konstanta Langmuir) dapat ditentukan melalui kemiringan (slope) dan intersep garis lurus yang terbentuk. Selain itu, dari model Langmuir dapat dihitung parameter kesetimbangan (R_L) yang memberikan informasi mengenai sifat adsorpsi, apakah bersifat ireversibel, linear, menguntungkan, atau tidak menguntungkan. Nilai R_L ini didefinisikan dalam Persamaan (3) (Siswoyo et al., 2014).

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L \cdot C_0)} \quad (3)$$

Keterangan :

K_L : Konstanta Langmuir

C_0 : Konsentrasi awal *tetracycline* (TTC)

Setelah mengetahui nilai R_L dengan menggunakan Persamaan (3) maka nilai R_L yang didapatkan akan menunjukkan bentuk isoterm sebagai berikut:

$R_L > 1$ (*Unfavorable*/tidak menguntungkan)

$R_L = 1$ (*Linear*)

$0 < R_L < 1$ (*Favorable*/menguntungkan)

$R_L = 0$ (*Irreversible*/tidak dapat dibalik)

3.4.2 Isoterm Freundlich

Persamaan Freundlich adalah persamaan empiris yang mengasumsikan proses adsorpsi berlangsung secara fisis pada permukaan adsorben yang tidak homogen. Bentuk persamaan isoterm freundlich ditunjukkan pada Persamaan (4) (Siswoyo et al., 2014).

$$q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (4)$$

Keterangan :

q_e :Jumlah zat yang teradsorpsi (mg/g)

C_e :Konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L)

K_f dan n :Konstanta freundlich

Setelah melakukan perhitungan menggunakan Persamaan (4) untuk menentukan nilai K_f dan n , langkah selanjutnya adalah memplot grafik antara $\log C_e$ dan $\log q_e$. Bentuk persamaan $\log q_e$ ditunjukkan pada Persamaan (5).

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (5)$$

3.5 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi adalah studi tentang laju proses adsorpsi, yaitu bagaimana molekul-molekul adsorbat (zat yang diadsorpsi) berpindah dari fase fluida (gas atau cairan) ke permukaan adsorben (zat yang menyerap). Kinetika adsorpsi dapat diketahui menggunakan persamaan *pseudo – first order* dan *pseudo-second order*.

3.5.1 *Pseudo – First Order*

Pseudo – First Order merupakan analisis konsentrasi adsorbat terlebih dilakukan dengan perbandingan jumlah sisi aktif yang tersedia pada permukaan adsorben, dengan persamaan (6) dan (7):

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \quad (6)$$

Keterangan :

q_t : Jumlah zat yang teradsorpsi pada waktu t (mg/g)

q_e : Jumlah zat pada keadaan setimbang (mg/g)

k_1 : Konstanta laju *pseudo first order* (min^{-1})

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t) \times v}{m} \quad (7)$$

Keterangan :

C_0 : Konsentrasi awal larutan (mg/L)

C_t : Konsentrasi pada waktu t (mg/L)

m : Massa adsorben (g)

Setelah melakukan perhitungan menggunakan Persamaan (6) dan Persamaan (7) maka selanjutnya akan diplotkan ke dalam grafik *Pseudo – first order* yaitu $\log (q_e - q_t)$ versus t (menit).

3.5.2 *Pseudo - Second Order*

Pseudo - second order merupakan kapasitas dalam daya adsorpsi secara proposional terhadap jumlah sisi aktif dari adsorben yang digunakan, dengan menggunakan Persamaan (8) dan Persamaan (9) :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{t}{\left(\frac{1}{k_2 \cdot q_e^2}\right) + \left(\frac{t}{q_e}\right)} \quad (8)$$

Keterangan :

q_t : Jumlah zat yang teradsorpsi pada waktu t (mg/g)

q_e : Jumlah zat pada keadaan setimbang (mg/g)

k_2 : Konstanta laju *pseudo second order* (min^{-1})

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t) \times v}{m} \quad (9)$$

Keterangan :

C_0 : Konsentrasi awal larutan (mg/L)

C_t : Konsentrasi pada waktu t (mg/L)

m : Massa adsorben (g)

Setelah melakukan perhitungan menggunakan Persamaan (8) dan Persamaan (9) maka selanjutnya akan diplotkan ke dalam grafik *Pseudo – first order* yaitu t/q_t versus t (menit).

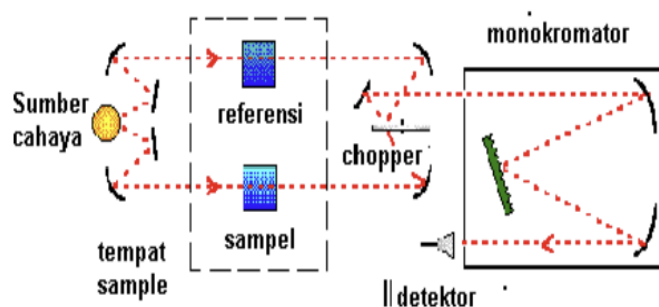
3.6 *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah alat yang digunakan untuk memperoleh gambar permukaan sampel dengan resolusi tinggi melalui pemindaian permukaan sampel menggunakan sinar elektron. Pada *scanning electron microscope (SEM)*, digunakan untuk mengamati perubahan morfologi permukaan partikel *polipropylene* sebelum fotodegradasi (PP) dan sesudah terjadinya

fotodegradasi (foto_PP). Sebelum fotodegradasi, SEM digunakan untuk menganalisis kondisi awal permukaan material, seperti struktur yang halus, serta potensi adanya cacat seperti pori-pori kecil. Setelah fotodegradasi, analisis SEM bertujuan untuk mendeteksi perubahan signifikan pada morfologi permukaan berupa retakan akibat terjadinya fotodegradasi (Anbarani et al., 2023).

3.7 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) biasanya digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada senyawa organik serta menganalisis struktur senyawa tersebut dengan membandingkan pola pada daerah sidik jarinya. Radiasi inframerah mencakup berbagai rentang frekuensi, namun tidak dapat terlihat oleh mata manusia. Spektrum inframerah diukur pada rentang cahaya inframerah tengah (mid-infrared), yaitu pada panjang gelombang 2,5–50 μm atau bilangan gelombang 4000–200 cm^{-1} . Energi yang dihasilkan oleh radiasi ini memicu terjadinya vibrasi atau getaran pada molekul. Adapun skema alat *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) ditunjukkan pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Skema Alat FTIR

Sebelum fotodegradasi, FTIR digunakan untuk mengarakterisasi struktur kimia dari *polypropylene* yang dimana dapat mengidentifikasi puncak-puncak spektrum yang menunjukkan adanya ikatan kimia tertentu. Dan setelah terjadi fotodegradasi, FTIR digunakan untuk mendeteksi perubahan yang terjadi akibat proses fotodegradasi.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Fotodegradasi

Fotodegradasi merupakan proses terjadinya perubahan fisik dan kimia pada mikroplastik akibat pelapukan alami yang kompleks, atau melalui proses fotodegradasi yang dipercepat dengan bantuan sinar ultraviolet (UV) (Gao et al., 2022). Pada percobaan ini, setelah mikroplastik *polypropylene* dipersiapkan melalui proses penggilingan (grinder) dan penyaringan dengan ukuran saringan yaitu 30 mesh kemudian dilakukan proses fotodegradasi terhadap sampel tersebut. Dokumentasi kegiatan fotodegradasi ditampilkan pada Gambar 4.1 berikut:

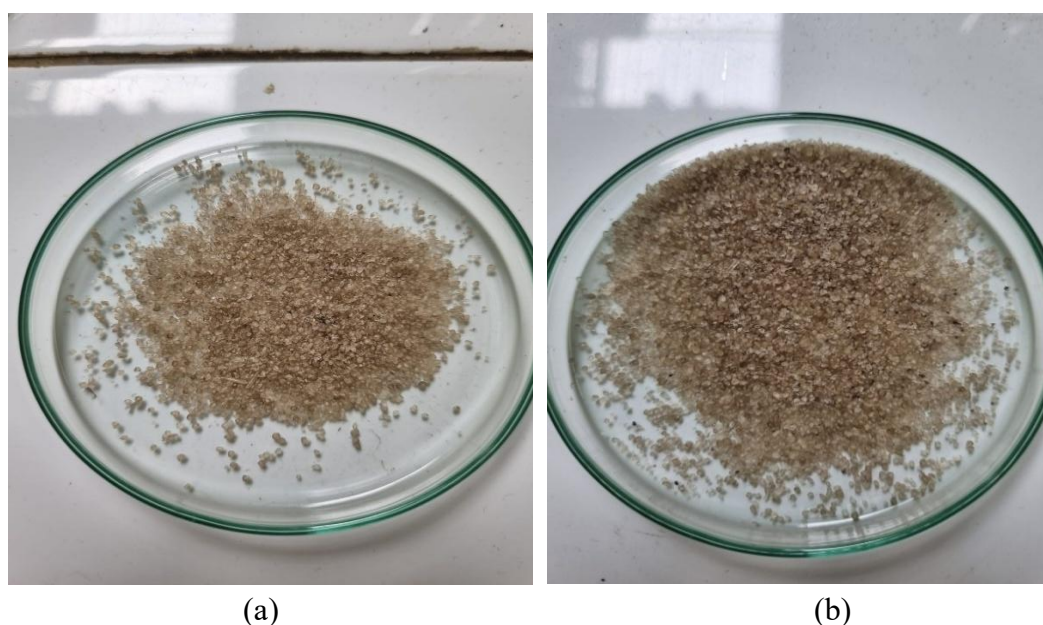


Gambar 4.1 Fotodegradasi Mikroplastik *Polypropylene*

(Sumber: Data Primer, 2025)

Berdasarkan Gambar 4.1 menunjukkan alat dan kondisi percobaan yang digunakan dalam proses fotodegradasi terhadap mikroplastik *polypropylene*. Proses ini dilakukan dengan menggunakan lampu UV berdaya 220 volt atau 20 watt yang ditempatkan di dalam sebuah lemari tertutup. Tujuan penggunaan lemari tertutup

adalah untuk memastikan paparan cahaya UV secara maksimal terhadap sampel dan untuk menghindari gangguan dari cahaya luar. Percobaan ini berlangsung selama 7 hari dengan pengadukan yang dilakukan setiap hari. Sampel mikroplastik *polypropylene* ditempatkan dalam cawan petri yang telah dialasi aluminium foil, kemudian diletakkan tepat di bawah sumber cahaya UV. Adapun dokumentasi mikroplastik *polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP) dan *polypropylene* setelah fotodegradasi (Foto_PP) pada Gambar 4.2 berikut:



Gambar 4.2 Dokumentasi Mikroplastik *Polypropylene*; (a)*Polypropylene* Sebelum Fotodegradasi (PP), (b) *Polypropylene* Setelah Fotodegradasi (Foto_PP)
(Sumber: Data Primer, 2025)

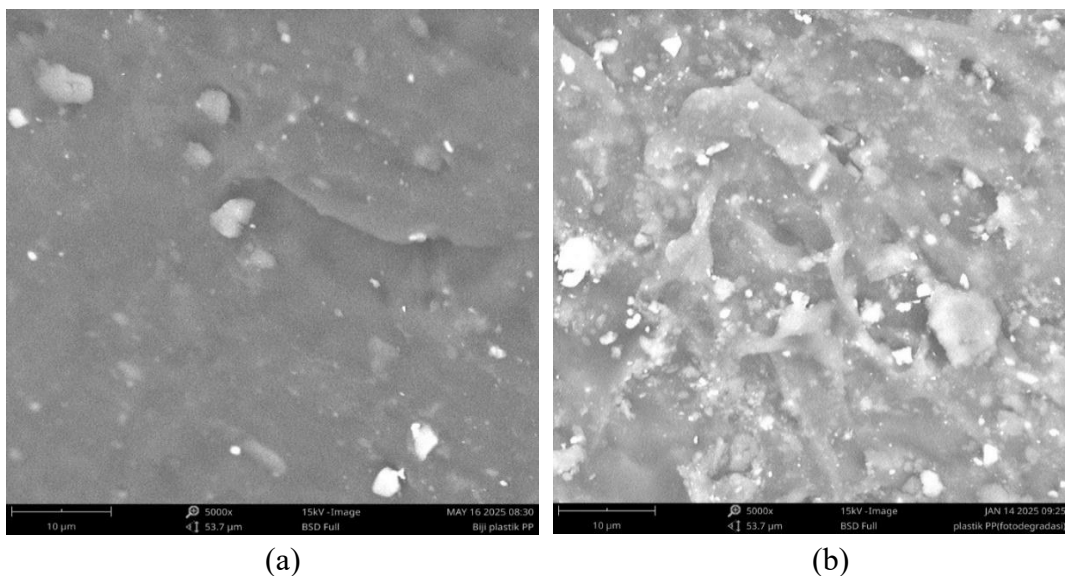
Setelah proses fotodegradasi selesai, secara kasat mata terlihat adanya perubahan warna pada mikroplastik, di mana sampel Foto_PP tampak lebih gelap dibandingkan dengan sampel PP. Untuk mengamati karakteristik adsorben secara lebih rinci, dilakukan karakterisasi menggunakan dua metode, yaitu *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengamati morfologi permukaan, dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengidentifikasi perubahan gugus fungsi pada permukaan mikroplastik. Selanjutnya, dilakukan uji adsorpsi untuk membandingkan kapasitas adsorpsi mikroplastik *polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP) dan setelah fotodegradasi (Foto_PP).

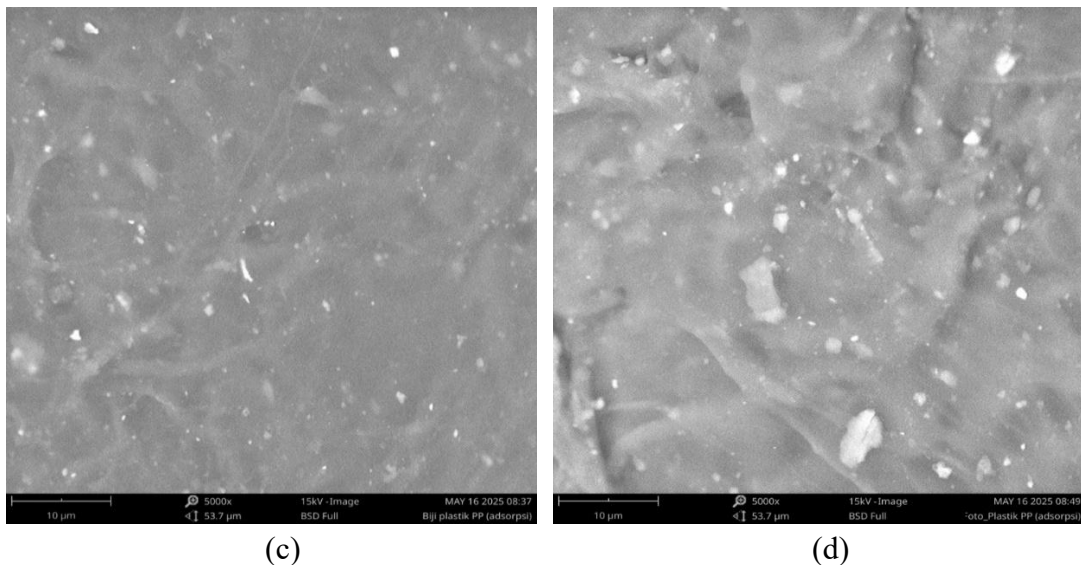
4.2 Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat adsorben, baik dari segi morfologi permukaan maupun keberadaan gugus fungsional. Dalam penelitian ini, karakterisasi dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengamati struktur permukaan, dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada adsorben.

4.2.1 Scanning Electron Microscope (SEM)

Karakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) memiliki tujuan untuk melihat bagaimana morfologi dari *polypropylene*. Morfologi yang akan dibandingkan yaitu mikroplastik *polypropylene* dengan ukuran 30 mesh sebelum fotodegradasi (PP) dan *polypropylene* setelah fotodegradasi (Foto_PP), sampel *polypropylene* sebelum fotodegradasi namun setelah uji adsorpsi (PP Adsorpsi) dan sampel *polypropylene* setelah fotodegradasi namun setelah uji adsorpsi (Foto_PP Adsorpsi). Ukuran perbesaran mikroskop yang digunakan dari adsorben yaitu menggunakan perbesaran 5000 kali. Adapun untuk berbesaran mikroplastik terlihat pada Gambar 4.3 berikut:





Gambar 4.3 Morfologi *Polypropylene* berdasarkan SEM; (a) *Polypropylene* Sebelum Fotodegradasi (PP), (b) *Polypropylene* Setelah Fotodegradasi (Foto_PP), (c) *Polypropylene* Sebelum Fotodegradasi namun sudah uji Adsorpsi (PP_Adsorpsi), (d) *Polypropylene* Setelah Fotodegradasi namun sudah uji Adsorpsi (Foto_PP Adsorpsi)
(Sumber: Data Primer, 2025)

Analisis morfologi permukaan adsorben *polypropylene* (PP) dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengidentifikasi perubahan struktural pasca fotodegradasi dan adsorpsi. Gambar 4.3a memperlihatkan kondisi PP sebelum fotodegradasi (PP) permukaan tampak halus, padat, dan homogen tanpa retakan atau pori signifikan, menunjukkan integritas struktural yang masih utuh sebelum paparan sinar UV atau interaksi kimia.

Perubahan struktural mulai teramati pada Gambar 4.3b memperlihatkan kondisi PP setelah fotodegradasi (PP_Fotodegradasi) permukaan menjadi kasar, tidak seragam, disertai retakan dan pori-pori yang jelas. Fragmentasi ini mengindikasikan pemutusan rantai polimer akibat paparan UV, yang mengurangi kekuatan mekanik material.

Pada Gambar 4.3c memperlihatkan PP yang tidak mengalami fotodegradasi namun sudah uji adsorpsi (PP_Adsorpsi) menunjukkan permukaan dengan lapisan

tipis atau partikel halus yang menempel setelah proses adsorpsi. Meskipun struktur serat masih relatif utuh, mulai terlihat adanya partikel-partikel kecil atau lapisan tipis yang menempel, menunjukkan adanya interaksi antara permukaan adsorben dengan zat yang diadsorpsi. Beberapa retakan halus dan pori kecil juga mulai terbentuk, mengindikasikan bahwa proses adsorpsi turut memengaruhi perubahan permukaan.

Pada Gambar 4.3d memperlihatkan PP yang sudah mengalami fotodegradasi namun sudah uji adsorpsi (PP_Fotodegradasi Adsorpsi), degradasi lebih terlihat dengan retakan besar, pori melebar, dan distribusi adsorbat yang merata. Adanya kerusakan morfologi yang kompleks serta peningkatan porositas. Kombinasi fotodegradasi dan adsorpsi tidak hanya melemahkan struktur tetapi juga memperluas permukaan aktif sehingga meningkatkan kapasitas adsorpsi material.

Secara keseluruhan, hasil SEM mengungkap bahwa fotodegradasi dan adsorpsi secara sinergis menginduksi perubahan morfologi signifikan pada permukaan *polypropylene*, termasuk peningkatan porositas dan fragmentasi struktur. Transformasi ini berimplikasi pada peningkatan luas permukaan aktif, sehingga memperkuat potensi *polypropylene* sebagai adsorben efisien dalam kondisi lingkungan dengan paparan UV dan kontaminan organik berupa TTC.

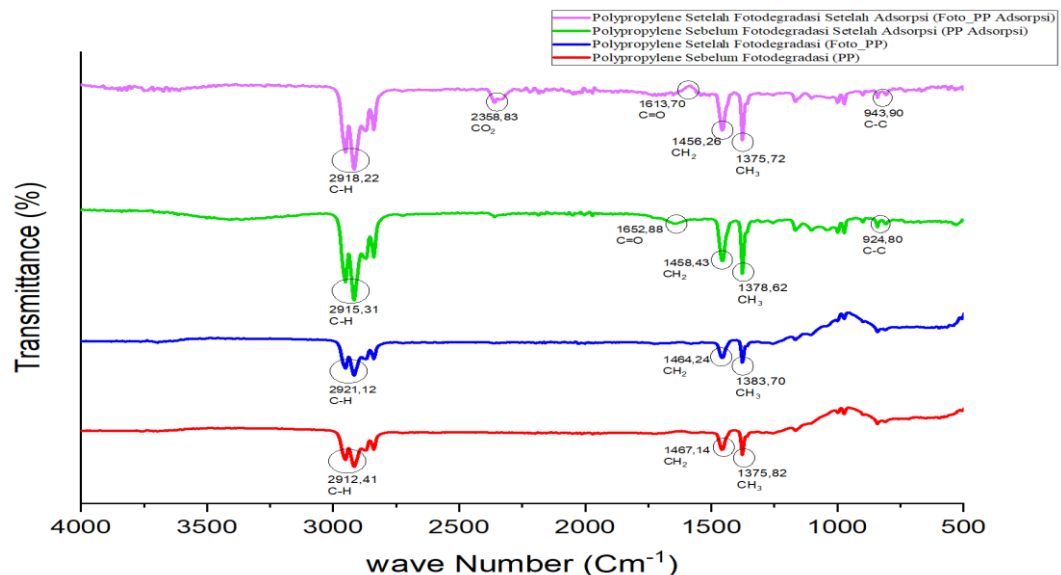
4.2.2 Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Tujuan penggunaan alat *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) yaitu untuk mengetahui dan mengkrakterisasi gugus-gugus fungsi yang terdapat pada adsorben polypropylene yang akan digunakan dalam proses percobaan ini. Skema dari alat FTIR yaitu dengan memanfaatkan spektrum inframerah yang dihasilkan oleh alat FTIR sehingga hasilnya analisisnya berbentuk grafik dengan memperlihatkan hubungan antara bilangan gelombang (cm^{-1}) pada sumbu X dan nilai transmisi (%) pada sumbu Y. Adapun yang diamati dalam grafik FTIR yaitu mengamati puncak-puncak serapan karakteristik yang muncul pada bilangan gelombang tertentu, yang mencerminkan keberadaan gugus fungsional spesifik pada permukaan adsorben. Adapun ketentuan gugus-gugus fungsi tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Daerah Gugus Fungsi pada FTIR

Bond	Type of Compound	Frequency Range, cm^{-1}	Intensity
C—H	Alkanes	2850–2970	Strong
		1340–1470	Strong
C—H	Alkenes (>C=C<H)	3010–3095	Medium
C—H	Alkynes ($\text{—C}\equiv\text{C—H}$)	675–995	Strong
C—H	Aromatic rings	3300	Strong
O—H	Monomeric alcohols, phenols	3010–3100	Medium
	Hydrogen-bonded alcohols, phenols	690–900	Strong
	Monomeric carboxylic acids	3590–3650	Variable
	Hydrogen-bonded carboxylic acids	3200–3600	Variable, sometimes broad
N—H	Amines, amides	3500–3650	Medium
C=C	Alkenes	2500–2700	Broad
C=C	Aromatic rings	3300–3500	Medium
C≡C	Alkynes	1610–1680	Variable
C—N	Amines, amides	1500–1600	Variable
C≡N	Nitriles	2100–2260	Variable
C—O	Alcohols, ethers, carboxylic acids, esters	1180–1360	Strong
C=O	Aldehydes, ketones, carboxylic acids, esters	2210–2280	Strong
NO ₂	Nitro compounds	1050–1300	Strong
		1690–1760	Strong
		1500–1570	Strong
		1300–1370	Strong

Setelah mengetahui ketentuan untuk daerah gugus fungsi pada FTIR maka kita dapat melakukan analisis terhadap adsorben *polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP) dan polypropylene setelah fotodegradasi (Foto_PP) dan setelah dilakukan uji adsorpsi menggunakan larutan *tetracycline*. Hasil pembacaan FTIR adsorben PP dan Foto_PP dapat dilihat pada Gambar 4.4:



Gambar 4.4 Grafik Hasil Uji FTIR

(Sumber: Data Primer, 2025)

Hasil analisis FTIR pada Gambar 4.4 menunjukkan adanya perbedaan pita serapan yang signifikan antara *polypropylene* (PP) sebelum fotodegradasi, sesudah fotodegradasi, dan setelah proses adsorpsi *tetracycline* (TTC). Pada PP murni, spektrum menampilkan pita khas polipropilena berupa regangan C–H pada 2912,41 cm^{-1} dan 2848 cm^{-1} , serta tekukan CH_2 dan CH_3 pada 1467,14 cm^{-1} dan 1375,85 cm^{-1} . Pita-pita ini menunjukkan bahwa struktur polimer masih stabil dan belum mengalami perubahan kimia.

Setelah fotodegradasi, pita regangan C–H bergeser menjadi 2921,12 cm^{-1} dengan intensitas yang menurun, mengindikasikan kerusakan rantai polimer akibat pemutusan ikatan C–H (*chain scission*). Selain itu, pita CH_2 dan CH_3 pada 1464,24 cm^{-1} dan 1383,70 cm^{-1} juga mengalami perubahan intensitas, yang menandakan adanya modifikasi struktur pada permukaan polimer. Perubahan yang paling menonjol adalah munculnya pita baru di sekitar 1650–1700 cm^{-1} , yang berkaitan dengan vibrasi gugus karbonil (C=O). Kehadiran gugus oksigen baru ini merupakan bukti terjadinya proses fotodegradasi pada PP, di mana paparan radiasi UV menyebabkan pemutusan rantai polimer dan reaksi dengan oksigen yang menghasilkan gugus karbonil pada permukaan. Hasil ini konsisten dengan laporan He et al. (2024), yang menyatakan bahwa fotodegradasi pada mikroplastik PP ditandai dengan kemunculan gugus karbonil sebagai hasil degradasi oksidatif.

Pada PP yang telah difotodegradasi kemudian digunakan untuk adsorpsi *tetracycline*, spektrum menunjukkan perubahan tambahan berupa pita baru pada 1652,88 cm^{-1} dan 1613,70 cm^{-1} yang dihubungkan dengan vibrasi karbonil aromatik dari *tetracycline*. Selain itu, intensitas pita CH_2 pada 1458,26 cm^{-1} menurun, yang mengindikasikan keterlibatan gugus hidrokarbon PP dalam interaksi dengan *tetracycline*. Puncak lemah pada 2358,83 cm^{-1} juga terdeteksi dan kemungkinan berasal dari penyerapan CO_2 pada permukaan, meskipun bukan pita utama dalam proses adsorpsi.

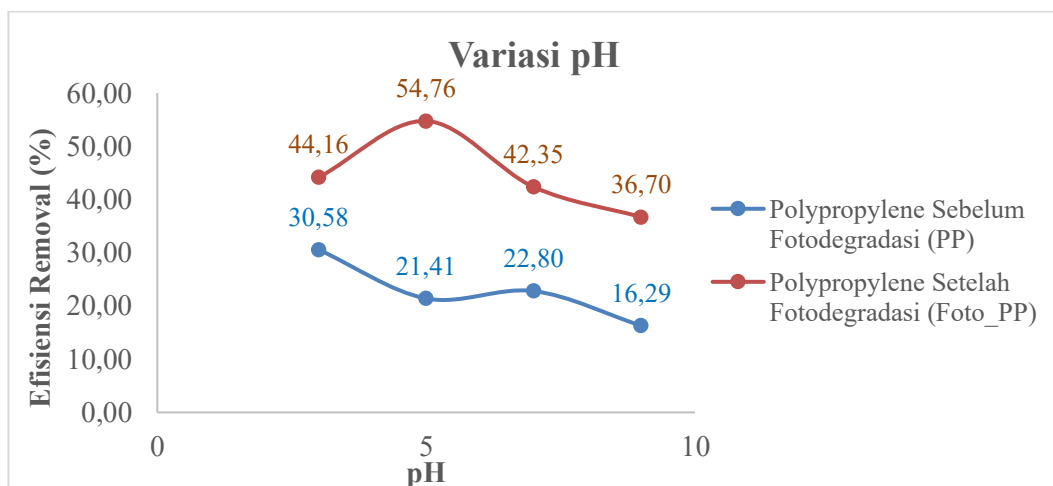
Secara keseluruhan, hasil FTIR membuktikan bahwa fotodegradasi tidak hanya merusak rantai polimer PP, tetapi juga menghasilkan gugus karbonil baru yang berperan penting dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi.

4.3 Pengujian Kemampuan Adsorpsi

Pengujian adsorpsi akan menggunakan Dua jenis adsorben digunakan, yaitu *polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP) dan *polypropylene* setelah fotodegradasi (Foto_PP), dengan larutan TTC buatan sebagai zat uji. Evaluasi kemampuan adsorpsi dilakukan melalui variasi beberapa parameter yaitu pH, konsentrasi, dan waktu kontak. Penentuan konsentrasi larutan sebelum dan sesudah proses adsorpsi akan dianalisis menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis.

4.3.1 Pengujian Variasi pH

Derajat keasaman (pH) merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi proses adsorpsi. Oleh karena itu, dilakukan percobaan dengan variasi pH untuk mengetahui kondisi pH optimal dalam penyerapan larutan *tetracycline*. Dalam penelitian ini, pH yang digunakan divariasikan menjadi pH 3, 5, 7, dan 9, yang masing-masing mewakili kondisi asam, netral, dan basa, dengan penyesuaian menggunakan larutan HCl 0,1 M dan NaOH 0,1 M. Volume larutan TTC yang digunakan adalah 25 mL dengan konsentrasi 5 mg/L. Dua jenis adsorben digunakan, yaitu *polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP) dan *Polypropylene* setelah fotodegradasi (Foto_PP), masing-masing sebanyak 50 mg. Proses adsorpsi dilakukan dengan waktu kontak selama 24 jam. Hasil uji variasi pH terhadap proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Grafik Efisiensi Adsorpsi *Tetracycline* (TTC) terhadap Variasi pH

(Sumber: Data Primer, 2025)

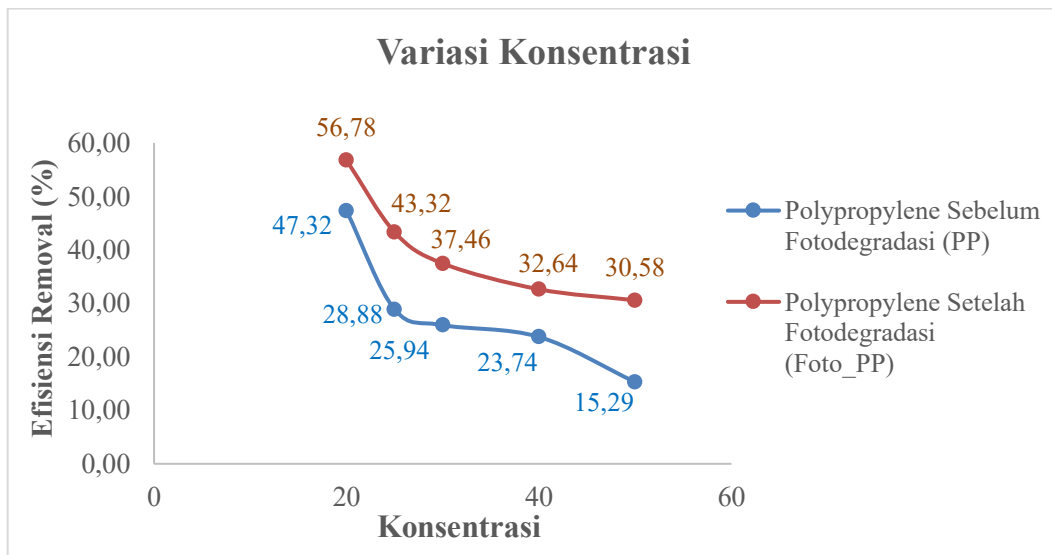
Berdasarkan hasil uji variasi pH terhadap adsorpsi TTC oleh *Polypropylene* (PP) sebelum dan sesudah fotodegradasi (Foto_PP), diperoleh data bahwa proses adsorpsi dipengaruhi oleh pH larutan. Pada sampel PP, persentase adsorpsi tertinggi terjadi pada pH 3 sebesar 30,58%. Seiring meningkatnya pH, efisiensi adsorpsi menurun, dengan nilai terendah pada pH 9 sebesar 16,29%. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi asam lebih mendukung proses adsorpsi TTC oleh mikroplastik PP karena adanya perubahan bentuk spesies TTC dari bentuk negatif (TCH_3^+ atau TCH_2^0) menjadi bermuatan negatif (TCH^- atau TC^{2-}) seiring meningkatnya pH, sehingga terjadi tolak-menolak elektrostatik antara mikroplastik yang juga bermuatan negatif (He et al., 2024) .

Kemudian pada sampel Foto_PP menunjukkan peningkatan adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan PP, yang mengindikasikan bahwa fotodegradasi meningkatkan kemampuan adsorpsi permukaan mikroplastik. Persentase adsorpsi tertinggi terjadi pada pH 5 dengan nilai 54,76%. Meskipun terjadi sedikit penurunan pada pH 7 dan 9, efisiensi adsorpsi tetap lebih tinggi dibandingkan dengan mikroplastik yang belum difotodegradasi, yaitu sebesar 42,35% dan 36,70%. Peningkatan pH ini disebabkan oleh adanya perubahan gugus fungsional yang ada pada polypropylene ketika proses fotodegradasi.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa pH larutan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap proses adsorpsi *tetracycline* (TTC) oleh mikroplastik *polypropylene*. Selain itu, perlakuan fotodegradasi terbukti mampu meningkatkan efisiensi adsorpsi secara keseluruhan. Dapat disimpulkan bahwa kondisi asam hingga netral mendukung terjadinya adsorpsi TTC karena adanya interaksi elektrostatik, ikatan hidrogen, dan efek hidrofobik. Sebaliknya, pada kondisi basa, proses adsorpsi mengalami penurunan akibat meningkatnya muatan negatif pada permukaan mikroplastik dan molekul TTC, sehingga terjadi gaya tolak-menolak. Dengan demikian, pH merupakan faktor yang penting dalam proses adsorpsi TTC oleh mikroplastik, dan fotodegradasi terbukti efektif dalam meningkatkan kapasitas adsorpsi, terutama dalam lingkungan perairan dengan pH rendah hingga netral.

4.3.2 Pengujian Variasi Konsentrasi

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi larutan TTC yang paling optimal dalam proses adsorpsi, yang ditunjukkan melalui nilai efisiensi tertinggi. Variasi konsentrasi TTC yang digunakan meliputi 20 mg/L, 25 mg/L, 30 mg/L, 40 mg/L, dan 50 mg/L. Dua jenis adsorben digunakan, yaitu *Polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP) dan *Polypropylene* setelah fotodegradasi (Foto_PP), masing-masing sebanyak 50 mg. Setiap variasi diuji menggunakan volume larutan TTC sebanyak 25 mL. Percobaan dilakukan pada kondisi pH 5 dengan waktu kontak selama 24 jam. Hasil uji variasi konsentrasi terhadap proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.6 Grafik Efisiensi Adsorpsi *Tetracycline* (TTC) terhadap Variasi Konsentrasi

(Sumber: Data Primer, 2025)

Berdasarkan hasil uji variasi konsentrasi awal tetracycline pada pH 5, diperoleh bahwa efisiensi penyisihan menurun seiring meningkatnya konsentrasi awal, baik pada mikroplastik PP maupun Foto_PP. Pada sampel PP, efisiensi penyisihan tertinggi terjadi pada konsentrasi 20 mg/L yaitu sebesar 47,32%, kemudian menurun menjadi 15,29% pada konsentrasi 50 mg/L. Penurunan ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi tinggi, jumlah molekul TTC lebih banyak dibandingkan dengan jumlah permukaan adsorben yang tersedia. Akibatnya,

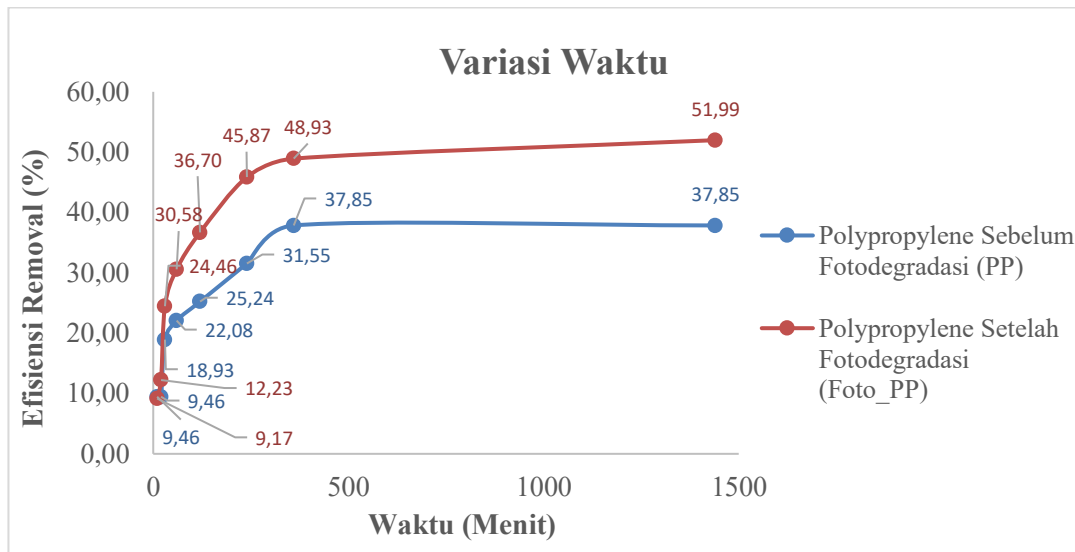
sebagian besar tetracycline tetap berada di dalam larutan dan tidak berhasil teradsorpsi.

Efisiensi penyisihan pada sampel Foto_PP terjadi penurunan seiring peningkatan konsentrasi, namun tetap berada pada tingkat yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel PP. Efisiensi tertinggi tercatat sebesar 56,78% pada konsentrasi 20 mg/L dan menurun hingga 30,58% pada konsentrasi 50 mg/L. Penurunan efisiensi ini kemungkinan disebabkan oleh terbatasnya area permukaan penyerap pada adsorben, sehingga pada konsentrasi yang lebih tinggi, tidak semua molekul *tetracycline* dapat teradsorpsi secara optimal.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi awal TTC, efisiensi penyisihannya cenderung menurun akibat keterbatasan kapasitas adsorpsi. Namun, mikroplastik yang telah mengalami fotodegradasi tetap mampu menunjukkan kinerja penyisihan yang lebih tinggi dibandingkan dengan mikroplastik yang belum difotodegradasi, mengindikasikan bahwa modifikasi permukaan melalui fotodegradasi meningkatkan kemampuan adsorpsi mikroplastik terhadap larutan TTC.

4.3.3 Pengujian Variasi Waktu

Variasi waktu kontak merupakan salah satu parameter penting yang dapat memengaruhi efektivitas penyisihan TTC melalui proses adsorpsi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui durasi waktu optimum yang menghasilkan efisiensi adsorpsi tertinggi. Variasi waktu yang digunakan meliputi 10, 20, 30, 60, 120, 240, 360, dan 1440 menit. Dua jenis sampel mikroplastik yang digunakan, yaitu *polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP) dan *polypropylene* setelah fotodegradasi (Foto_PP), masing-masing sebanyak 50 mg, pH larutan yaitu pada pH 5, serta konsentrasi larutan TTC sebesar 20 mg/L. Hasil uji variasi waktu terhadap proses adsorpsi dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut:



Gambar 4.7 Grafik Efisiensi Adsorpsi *Tetracycline* (TTC) terhadap Variasi Waktu

(Sumber: Data Primer, 2025)

Berdasarkan data pada tabel di atas, dapat dilihat bahwa proses adsorpsi tetracycline menggunakan sampel PP dan Foto_PP menunjukkan peningkatan efisiensi penyisihan seiring bertambahnya waktu kontak. Pada adsorben PP, efisiensi penyisihan meningkat secara bertahap dari 9,46% pada waktu 10 dan 20 menit menjadi 37,85% pada waktu 360 menit, dan tidak mengalami perubahan signifikan hingga waktu 1440 menit. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu di atas 360 menit, sistem telah mencapai kondisi kesetimbangan, di mana tidak terjadi peningkatan lebih lanjut dalam proses adsorpsi.

Sementara itu, penggunaan Foto_PP menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan PP. Efisiensi penyisihan meningkat lebih cepat dan mencapai 51,99% pada waktu 1440 menit. Peningkatan efisiensi ini menunjukkan bahwa modifikasi fotokimia pada adsorben berhasil meningkatkan afinitas permukaan terhadap molekul tetracycline. Selain itu, pada waktu kontak yang sama, Foto_PP secara konsisten menunjukkan performa yang lebih tinggi daripada PP. Misalnya, pada waktu 240 menit, efisiensi penyisihan Foto_PP mencapai 45,87%, lebih tinggi dibandingkan dengan PP yang hanya 31,55%.

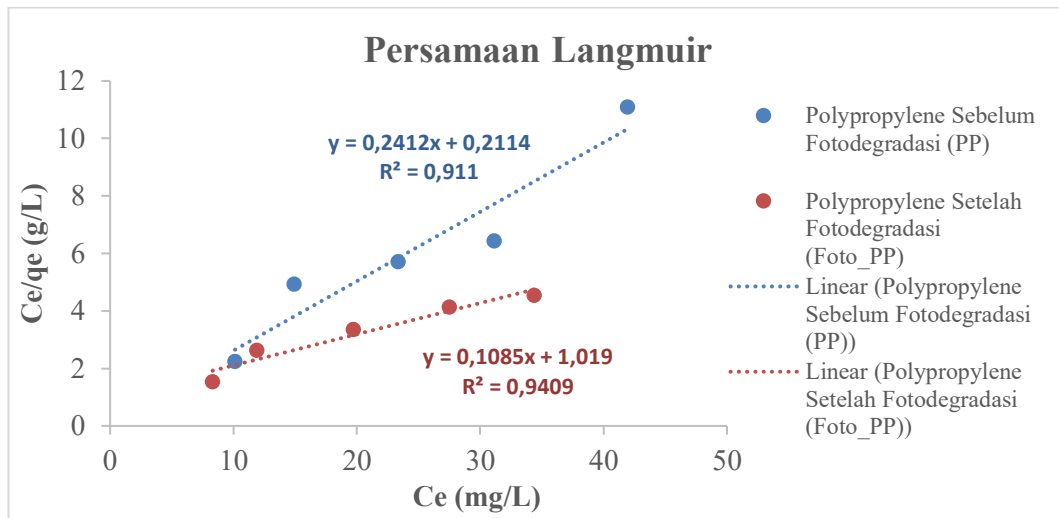
Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa waktu kontak merupakan parameter penting dalam proses adsorpsi tetracycline, di mana efisiensi penyisihan meningkat seiring bertambahnya waktu hingga mencapai kesetimbangan.

4.4 Isotherm Adsorpsi

Dalam percobaan ini digunakan Dua jenis sampel mikroplastik yang digunakan, yaitu *polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP) dan *polypropylene* setelah fotodegradasi (Foto_PP). Selanjutnya, dilakukan analisis isotherm adsorpsi untuk menggambarkan hubungan antara jumlah zat yang teradsorpsi (adsorbat) dengan konsentrasi larutan pada kondisi kesetimbangan (Haryono et al., 2023). Pada penelitian ini, model isotherm yang digunakan terdiri dari dua pendekatan, yaitu isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich.

4.4.1 Isotherm Langmuir

Model isotherm langmuir menggambarkan mekanisme penyerapan secara kimiawi, dengan asumsi bahwa penyerapan hanya terjadi pada permukaan penyerap yang bersifat seragam. Permukaan ini memiliki tempat-tempat tertentu yang mampu mengikat molekul zat yang diserap, di mana masing-masing tempat hanya dapat menampung satu molekul sehingga menghasilkan lapisan tunggal (*monolayer*) tanpa adanya interaksi antar molekul yang diserap (Rosita et al., 2022). Data dari pengujian konsentrasi larutan TTC diolah menggunakan model isotherm Langmuir. Hasil perhitungan dan pemodelan isotherm langmuir ditampilkan pada Gambar 4.8 dan Tabel 4.4 berikut:



Gambar 4.8 Grafik Plot Persamaan Isoterm Langmuir

(Sumber: Data Primer, 2025)

Tabel 4.2 Persamaan Isotherm Langmuir

Persamaan Langmuir					
Nama	Slope	Intercept	q_m (mg/g)	K_L	R^2
PP	0,2412	0,2114	4,146	1,141	0,911
Foto_PP	0,1085	1,019	9,217	0,106	0,941

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

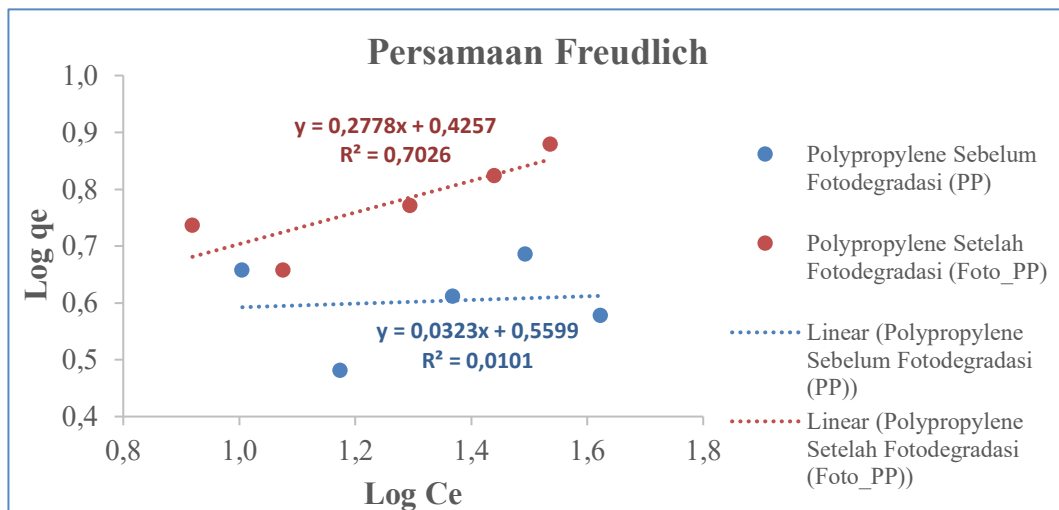
Berdasarkan Gambar 4.8 dan Tabel 4.2 yang menampilkan grafik dan persamaan isoterm Langmuir, dapat dianalisis karakteristik adsorpsi larutan TTC oleh dua jenis adsorben digunakan, yaitu *polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP) dan *polypropylene* setelah fotodegradasi (Foto_PP). Pada percobaan adsorpsi menggunakan adsorben PP, diperoleh persamaan garis regresi $y = 0,2412x + 0,2114$ dengan nilai $R^2 = 0,911$. Dari persamaan tersebut, diperoleh nilai konstanta langmuir (K_L) sebesar 1,141 dan kapasitas maksimum adsorpsi (q_{max}) sebesar 4,146 mg/g. Dengan demikian, dapat diketahui bahwa kapasitas adsorpsi larutan TTC oleh adsorben PP adalah 4,146 mg/g.

Kemudian pada adsorben Foto_PP diperoleh persamaan garis regresi $y = 0,1085x + 1,019$ dengan nilai $R^2 = 0,941$. Dari persamaan tersebut, diperoleh nilai

Konstanta Langmuir (K_L) sebesar 0,106 dan kapasitas maksimum adsorpsi ($q_{\max}$) sebesar 9,217 mg/g. Oleh karena itu, kapasitas adsorpsi larutan TTC oleh adsorben foto_PP adalah sebesar 9,217 mg/g dengan konstanta Langmuir 0,106.

4.4.2 Isoterm Freundlich

Isoterm adsorpsi Freundlich menggambarkan proses adsorpsi yang berlangsung dalam beberapa lapisan (*multilayer*) molekul adsorbat pada permukaan adsorben (Rosita et al., 2022). Data dari pengujian konsentrasi larutan TTC diolah menggunakan rumus isoterm freundlich. Hasil perhitungan dan pemodelan isoterm freundlich ditampilkan pada Gambar 4.9 dan Tabel 4.3 berikut:



Gambar 4.9 Grafik Plot Persamaan Isoterm Freundlich

(Sumber: Data Primer, 2025)

Tabel 4.3 Persamaan Isotherm Freundlich

Persamaan Freundlich						
Nama	Slope	Intercept	N	1/n	K_f	R^2
PP	0,0323	0,5599	30,960	0,032	3,630	0,0101
Foto_PP	0,2778	0,4257	3,600	0,278	2,665	0,7026

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

Berdasarkan Gambar 4.9 dan Tabel 4.3 yang menampilkan grafik dan persamaan isoterm freundlich, dapat dianalisis karakteristik adsorpsi larutan TTC oleh dua jenis adsorben digunakan, yaitu *polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP)

dan *polypropylene* setelah fotodegradasi (Foto_PP). Pada percobaan adsorpsi menggunakan adsorben PP, diperoleh persamaan garis regresi $y = 0,0323x + 0,559$ dengan nilai $R^2 = 0,0101$, Dari persamaan tersebut, diperoleh nilai konstanta freundlich (K_f) sebesar 3,630 dan intensitas adsorpsi ($1/n$) sebesar 0,032.

Kemudian pada adsorben Foto_PP, diperoleh persamaan garis regresi $y = 0,2778x + 0,4257$ dengan nilai $R^2 = 0,7026$. Dari persamaan tersebut, diperoleh nilai konstanta freundlich (K_f) sebesar 2,665 dan intensitas adsorpsi ($1/n$) sebesar 0,278.

4.4.3 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Dalam hal mekanisme adsorpsi pada adsorben PP dan adsorben Foto_PP menggunakan kedua model isoterm langmuir dan isotorm freundlich, dari dua model tersebut akan dipilih salah satu untuk memberikan hasil yang cukup baik dalam penggunaanya. Untuk memilih salah satu metode tersebut digunakan perbandingan data keduanya, data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4.4 Perbandingan Mekanisme Adsorpsi Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich

Adsorben	Langmuir			Freundlich		
	q_m (mg/g)	K_L	R^2	$1/n$	K_f	R^2
PP	4,146	1,141	0,911	0,032	3,630	0,010
Foto_PP	9,217	0,106	0,941	0,278	2,665	0,703

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

Berdasarkan data yang disajikan dalam Tabel 4.4, pemilihan model isoterm adsorpsi dilakukan dengan mempertimbangkan nilai koefisien determinasi (R^2) yang mendekati 1. Pada model isoterm Freundlich, nilai koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh relatif rendah, yaitu 0,010 untuk adsorben PP dan 0,703 untuk adsorben Foto_PP. Selain itu, diperoleh juga nilai konstanta Freundlich K_f dan $1/n$, yang menggambarkan kapasitas dan intensitas adsorpsi (He et al., 2024). Nilai $1/n$ yang dihasilkan adalah 0,032 untuk sampel PP dan 0,278 untuk sampel Foto_PP. Karena kedua nilai $1/n$ berada di atas 1 ($0 < 1/n < 1$), dapat disimpulkan bahwa

proses adsorpsi menguntungkan (*favorable*), yaitu kedua adsorben ketika proses adsorpsi dapat menguntungkan.

Sebaliknya, model isoterm langmuir menunjukkan nilai koefisien determinasi yang jauh lebih tinggi (R^2), yaitu 0,911 untuk sampel PP dan 0,9411 untuk sampel Foto_PP menunjukkan angka yang relatif mirip karena proses adsorpsi pada kedua jenis adsorben tetap mengikuti mekanisme yang sama, yaitu pembentukan lapisan tunggal (monolayer) pada permukaan yang relatif homogen. Fotodegradasi tidak mengubah mekanisme dasar adsorpsi, melainkan hanya meningkatkan jumlah situs aktif dan kapasitas maksimum (q_m) (Bhagat et al., 2022). Dengan kata lain, meskipun Foto_PP memiliki lebih banyak situs adsorpsi akibat terbentuknya gugus oksigen baru serta retakan permukaan, proses keterikatan molekul tetracycline tetap berlangsung melalui pola Langmuir. Nilai ini menunjukkan bahwa model Langmuir lebih akurat dalam merepresentasikan data eksperimen. Selain itu, kapasitas maksimum adsorpsi (q_m) yang diperoleh dari model ini mencerminkan kemampuan adsorben dalam membentuk lapisan tunggal TTC pada permukaan *polypropylene*. Adsorben PP memiliki kapasitas sebesar 4,146 mg/g, sedangkan Foto_PP memiliki kapasitas dua kali lebih besar, yaitu 9,217 mg/g. Peningkatan ini berkaitan dengan perubahan sifat permukaan akibat fotodegradasi, khususnya pembentukan gugus oksigen (seperti karbonil dan hidroksil) serta perubahan morfologi yang menghasilkan lebih banyak situs aktif pada permukaan adsorben. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Bhagat et al. (2022), yang melaporkan bahwa proses fotodegradasi pada mikroplastik *polypropylene* secara signifikan meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap polutan organik melalui penambahan gugus fungsional oksigen dan retakan permukaan yang memperluas area adsorpsi. Kemudian nilai K_L yaitu 1,141 untuk PP dan 0,106 untuk Foto_PP. Pada Foto_PP nilai nya lebih kecil dibandingkan dengan PP yang indenfikasikan interaksi awal yang lemah tetapi kapasitas total lebih tinggi.

Berdasarkan perbandingan kedua model isoterm, dapat disimpulkan bahwa model Langmuir merupakan model yang paling sesuai untuk menggambarkan proses adsorpsi TTC pada mikroplastik *polypropylene* baik sebelum maupun sesudah fotodegradasi. Nilai koefisien determinasi yang tinggi serta kapasitas

adsorpsi maksimum yang diperoleh mendukung kesimpulan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara monolayer pada permukaan yang relatif homogen (Guo et al., 2023). Selain itu, meskipun nilai K_L pada Foto_PP lebih kecil dibandingkan dengan PP, hal tersebut tidak menunjukkan bahwa adsorpsi menjadi kurang efektif. Sebaliknya, nilai K_L yang lebih rendah mencerminkan bahwa interaksi awal antara TTC dan permukaan Foto_PP mungkin lebih lemah, tetapi kapasitas maksimum adsorpsinya jauh lebih besar. Hal ini disebabkan oleh peningkatan sifat permukaan karena adanya proses Fotodegradasi

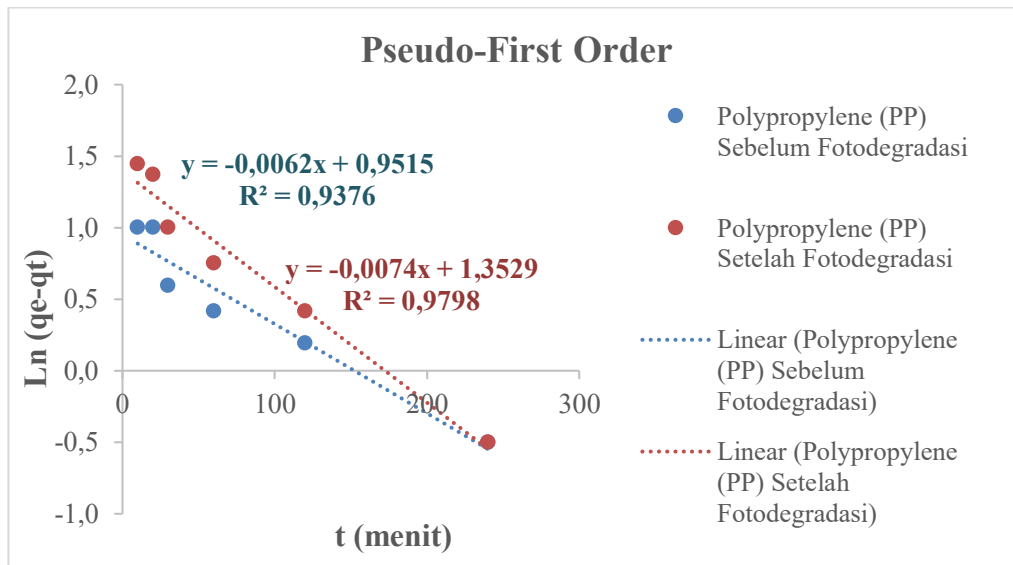
4.5 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi menggambarkan dinamika penyerapan suatu zat oleh adsorben seiring berjalannya waktu. Karakteristik kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat dapat dianalisis melalui laju adsorpsi, yang mencerminkan kecepatan proses tersebut. Laju adsorpsi ini dapat ditentukan dengan menghitung konstanta laju adsorpsi (k) dan menentukan orde reaksi yang sesuai berdasarkan model kinetika adsorpsi yang digunakan (Meila Anggriani et al., 2021).

Dalam penelitian ini, kinetika adsorpsi larutan TTC dianalisis menggunakan dua jenis adsorben digunakan, yaitu *polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP) dan *polypropylene* setelah fotodegradasi (Foto_PP). Proses analisis dilakukan dengan memplot data eksperimen ke dalam grafik untuk mengevaluasi laju adsorpsi. Dua model kinetika yang diterapkan dalam studi ini adalah model *Pseudo-First Order* dan *Pseudo-Second Order*.

4.5.1 Pseudo-First Order

(Sanjaya & Agustine, 2015) *Pseudo-First Order* merupakan jenis reaksi di mana laju reaksinya hanya dipengaruhi oleh konsentrasi salah satu zat reaktan, atau sebanding dengan pangkat satu dari salah satu reaktan tersebut (Sanjaya & Agustine, 2015). Data dari pengujian variasi waktu yaitu 10, 20, 30, 60, 120, 240, 360 dan 1440 menit larutan TTC diolah menggunakan rumus *pseudo-first order*. Hasil perhitungan dan pemodelan *pseudo-first order* ditampilkan pada Gambar 4.10 dan Tabel 4.5 berikut:



Gambar 4.10 Grafik Plot *Pseudo-First Order*

(Sumber: Data Primer, 2025)

Tabel 4.5 Persamaan *Pseudo-First Order*

<i>Pseudo-First Order</i>					
Adsorben	Slope	K_1 (menit^{-1})	Intercept	q_e (mg/g)	R^2
PP	-0,006	0,006	0,952	2,590	0,938
Foto PP	-0,007	0,007	1,353	3,869	0,980

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

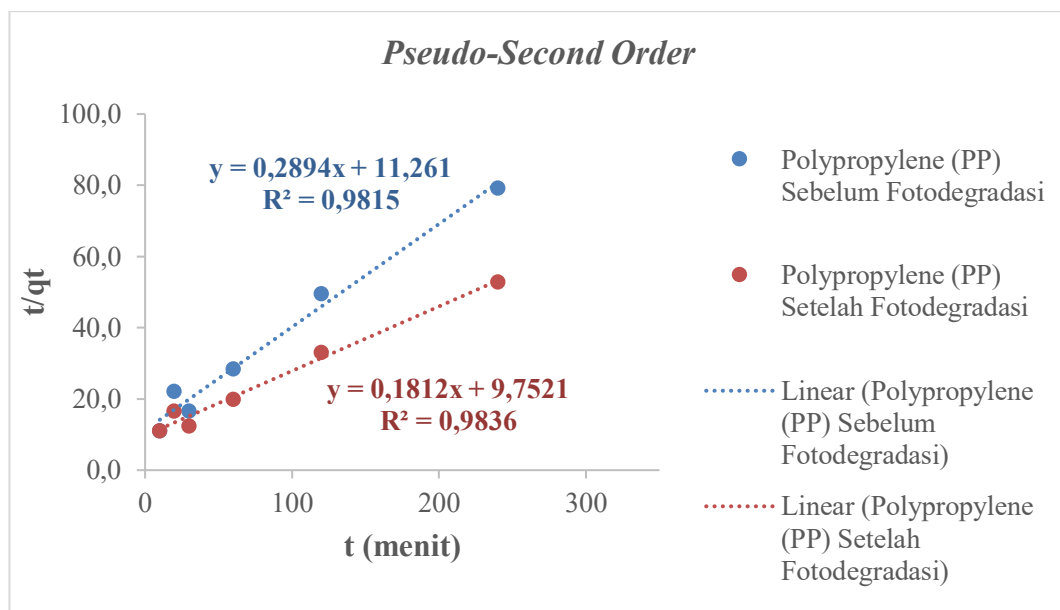
Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

Berdasarkan Gambar 4.10 dan Tabel 4.5 yang menampilkan grafik dan persamaan *pseudo-first order*, dapat dianalisis karakteristik adsorpsi larutan TTC oleh dua jenis adsorben digunakan, yaitu *polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP) dan *polypropylene* setelah fotodegradasi (Foto_PP). Pada percobaan adsorpsi menggunakan adsorben PP, diperoleh persamaan garis regresi $y = -0,0062x + 0,9515$ dan nilai $R^2 = 0,9376$. Dari persamaan tersebut diketahui nilai $K_1 = 0,006 \text{ m}^{-1}$ dan nilai persamaan $q_e = 2,590 \text{ mg/g}$.

Kemudian pada adsorben Foto_PP, diperoleh persamaan garis regresi $y = -0,0074x + 1,3529$ dan nilai $R^2 = 0,9798$. Dari persamaan tersebut diketahui nilai $K_1 = 0,007 \text{ m}^{-1}$ dan nilai persamaan $q_e = 3,869 \text{ mg/g}$.

4.5.2 Pseudo-Second Order

(Sanjaya & Agustine, 2015) *Pseudo-Second Order* adalah jenis reaksi yang laju reaksinya sebanding dengan perkalian konsentrasi dua reaktan, atau sebanding secara langsung dengan kuadrat konsentrasi salah satu reaktan (Sanjaya & Agustine, 2015) Data dari pengujian variasi waktu yaitu 10, 20, 30, 60, 120, 240, 360 dan 1440 menit larutan TTC diolah menggunakan rumus *pseudo-second order*. Hasil perhitungan dan pemodelan *pseudo-second order* ditampilkan pada Gambar 4.11 dan Tabel 4.6 berikut:



Gambar 4.11 Grafik Plot *Pseudo-Second Order*

(Sumber: Data Primer, 2025)

Tabel 4.6 Persamaan *Pseudo-Second Order*

<i>Pseudo-Second Order</i>					
Adsorben	Slope	k_2 (menit^{-1})	Intercept	q_e (mg/g)	R^2
PP	0,289	0,007	11,261	3,455	0,982
Foto_PP	0,181	0,003	9,752	5,519	0,984

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

Berdasarkan Gambar 4.11 dan Tabel 4.6 yang menampilkan grafik dan persamaan *pseudo-second order*, dapat dianalisis karakteristik adsorpsi larutan

TTC oleh dua jenis adsorben digunakan, yaitu *polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP) dan *polypropylene* setelah fotodegradasi (Foto_PP). Pada percobaan adsorpsi menggunakan adsorben PP, diperoleh persamaan garis regresi $y = 0,289x + 11,261$ dan nilai $R^2 = 0,982$. Dari persamaan tersebut diketahui nilai $K_1 = 0,007 \text{ m}^{-1}$ dan nilai persamaan $q_e = 3,455 \text{ mg/g}$.

Kemudian pada adsorben Foto_PP, diperoleh persamaan garis regresi $y = 0,181x + 9,752$ dan nilai $R^2 = 0,984$. Dari persamaan tersebut diketahui nilai $K_2 = 0,003 \text{ m}^{-1}$ dan nilai persamaan $q_e = 5,519 \text{ mg/g}$.

4.5.3 Penentuan Model Kinetika Adsorpsi

Dalam hal mekanisme adsorpsi pada adsorben PP dan adsorben Foto_PP menggunakan kedua persamaan *Pseudo-First Order* dan *Pseudo-Second Order*, dari dua persamaan tersebut akan dipilih salah satu untuk memberikan hasil yang cukup baik dalam penggunaannya. Untuk memilih salah satu metode tersebut digunakan perbandingan data keduanya, data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7 Perbandingan Mekanisme Adsorpsi *Pseudo-First Order* dan *Pseudo-Second Order*

Adsorben	<i>Pseudo-First Order</i>			<i>Pseudo-Second Order</i>		
	k_1 (menit^{-1})	q_e (mg/g)	R^2	k_2 (menit^{-1})	q_e (mg/g)	R^2
PP	0,006	2,590	0,938	0,007	3,455	0,982
Foto_PP	0,007	3,869	0,980	0,003	5,519	0,984

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

Berdasarkan pada Tabel 4.7, dapat diketahui bahwa *pseudo-second order* dapat menggambarkan perilaku adsorpsi lebih baik yaitu dengan nilai R^2 adalah 0,982 untuk PP dan 0,984 untuk Foto_PP dibandingkan dengan *pseudo-first order* dengan nilai R^2 lebih kecil yaitu 0,938 untuk PP dan 0,980 untuk Foto_PP. Sehingga *pseudo-second Order* dapat digunakan untuk menggambarkan kemisorpsi antara adsorben dan adsorbat (Fan et al., 2021).

Kemudian dapat dilihat juga pada jumlah adsorpsi kesetimbangan TTC pada yaitu nilai q_e pada *pseudo-second order* adalah 3,455 untuk PP dan 5,519 untuk Foto_PP, sedangkan nilai q_e pada *pseudo-first order* adalah 2,590 untuk PP dan 3,869 untuk Foto_PP. Sehingga untuk adsorpsi kesetimbangan TTC yang digunakan yaitu *pseudo-second order*.

Kemudian dapat dilihat juga untuk nilai laju adsorpsi k_1 dari model *pseudo-first order* menunjukkan sedikit peningkatan setelah fotodegradasi, yaitu dari 0,006 menit^{-1} pada PP menjadi 0,007 menit^{-1} pada Foto_PP, yang mengindikasikan bahwa laju adsorpsi awal sedikit lebih cepat setelah terjadi perubahan sifat permukaan adsorben. Sementara itu, pada model *pseudo-second order*, nilai k_2 justru menurun dari 0,007 menit^{-1} (PP) menjadi 0,003 menit^{-1} (Foto_PP), meskipun kapasitas adsorpsi kesetimbangan q_e meningkat secara signifikan dari 3,455 mg/g menjadi 5,519 mg/g. Penurunan k_2 ini dapat diartikan bahwa meskipun adsorpsi berlangsung lebih lambat pada Foto_PP, prosesnya lebih kuat dan menyeluruh karena melibatkan interaksi kimia yang lebih dominan akibat peningkatan situs aktif dan gugus fungsional setelah adanya fotodegradasi pada mikroplastik *polypropylene*. Dengan demikian, perubahan nilai k_1 dan k_2 mencerminkan adanya perbedaan mekanisme dan kecepatan adsorpsi antara PP dan Foto_PP yang dipengaruhi oleh karakteristik permukaan adsorben.

Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa model kinetika adsorpsi yang paling sesuai adalah *Pseudo-Second Order*, ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih tinggi pada kedua jenis adsorben. Selain itu, kekuatan adsorpsi yang lebih besar terjadi pada Foto_PP, yang menunjukkan kapasitas adsorpsi lebih tinggi sebagai hasil dari perubahan sifat permukaan akibat proses fotodegradasi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pada penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan yaitu :

1. Mikroplastik *polypropylene* sebelum fotodegradasi (PP) tidak menunjukkan perubahan morfologi yang signifikan, dengan permukaan yang tampak halus dan minim retakan atau pori. Kemudian pada mikroplastik *polypropylene* mengalami fotodegradasi (Foto_PP), terjadi perubahan morfologi yang jelas, ditandai dengan permukaan yang menjadi lebih kasar, tidak seragam, serta munculnya banyak retakan dan pori serta secara kasar mata adanya perubahan warna menjadi lebih gelap dibandingkan dengan mikroplastik PP. Perubahan ini menunjukkan peningkatan porositas pada permukaan mikroplastik akibat proses fotodegradasi.
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikroplastik polipropilena yang telah mengalami fotodegradasi (Foto_PP) memiliki efisiensi adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan mikroplastik polipropilena yang belum mengalami fotodegradasi (PP) pada berbagai variasi pH, waktu, dan konsentrasi. Pada variasi pH, efisiensi tertinggi dicapai pada pH 5 oleh mikroplastik Foto_PP sebesar 54,76%, sedangkan mikroplastik PP hanya mencapai 30,58% pada pH 3. Pada variasi konsentrasi, efisiensi tertinggi diperoleh pada konsentrasi 20 mg/L, yaitu sebesar 56,78% untuk mikroplastik Foto_PP, dibandingkan dengan 47,32% untuk mikroplastik PP pada konsentrasi yang sama. Sementara itu, pada variasi waktu, efisiensi tertinggi tercatat pada durasi 24 jam (1440 menit), yaitu sebesar 51,99% pada mikroplastik Foto_PP dibandingkan dengan 37,85% pada mikroplastik PP.

5.2 Saran

1. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk meningkatkan durasi fotodegradasi menjadi lebih dari 7 hari guna mengevaluasi efek jangka panjang terhadap karakteristik mikroplastik *polypropylene*.
2. Disarankan untuk melakukan percobaan adsorpsi dengan antibiotik lain selain *tetracycline*, sehingga dapat mengetahui dampak yang lebih luas terhadap lingkungan.
3. Disarankan untuk menambah variasi pH, konsentrasi, dan waktu dalam eksperimen agar dapat memperoleh data yang lebih komprehensif mengenai pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap efisiensi adsorpsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abas, S. N. A., Ismail, M. H. S., Kamal, M. L., & Izhar, S. (2013). Adsorption process of heavy metals by low-cost adsorbent: A review. *World Applied Sciences Journal*, 28(11), 1518–1530.
- Amangelsin, Y., Semenova, Y., Dadar, M., Aljofan, M., & Bjørklund, G. (2023). The Impact of Tetracycline Pollution on the Aquatic Environment and Removal Strategies. In *Antibiotics* (Vol. 12, Issue 3). MDPI.
- Amanu, A. A., Zahrani, A. P., Ristaatin, F. A., Ardillah, A. R., & Radianto, D. O. (2024). Pengaruh Limbah Mikroplastik Terhadap Organisme dan Upaya Penanganannya. *Manufaktur: Publikasi Sub Rumpun Ilmu Keteknikan Industri*, 2(2), 12–24.
- Anbarani, M. Zahmatkesh., Najafpoor, Aliasghar., Barikbin, Behnam., & Bonyadi, Ziaeddin. (2023). Adsorption of tetracycline on polyvinyl chloride microplastics in aqueous environments. *Scientific Reports*, 13(1).
- Aziz, H. A., & Rante, H. B. (2021). Produksi Bahan Bakar Cari Dari Limbah Plastik Polypropylene (PP) Metode Pirolis.
- Azizi, M. F., Endrawati, H., & Sabdono, A. (2025). Kemampuan Degradasi Mikroplastik Polycaprolactone oleh Bakteri Asosiasi Karang Keras di Pantai Kartini Jepara. *Buletin Oseanografi Marina*, 14(1), 81–89.
- Bhagat, K., Barrios, A. C., Rajwade, K., Kumar, A., Oswald, J., Apul, O., & Perreault, F. (2022). Aging of microplastics increases their adsorption affinity towards organic contaminants. *Chemosphere*, 298.
- 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.

- Erawati, E., & Huda, F. N. (2023). Pirolisis Campuran Limbah Plastik Jenis Polietilena Berdensitas Tinggi (HDPE) dan Polipropilena (PP) Dengan Bentonit Sebagai Katalis. In *Jurnal Integrasi Proses* (Vol. 12, Issue 1).
- Fan, X., Zou, Y., Geng, N., Liu, J., Hou, J., Li, D., Yang, C., & Li, Y. (2021). Investigation on the adsorption and desorption behaviors of antibiotics by degradable MPs with or without UV ageing process. *Journal of Hazardous Materials*, 401. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123363>
- 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*,
- Guo, C., Wang, L., Lang, D., Qian, Q., Wang, W., Wu, R., & Wang, J. (2023). UV and chemical aging alter the adsorption behavior of microplastics for tetracycline. *Environmental Pollution*, 318.
- Haryono, Noviyanto, A. R., & Ernawati, E. E. (2023). Sintesis, Karakterisasi, dan Uji Adsorpsi Komposit Silika/Karbon dari Limbah Sekam Padi sebagai Adsorben Tembaga (II). 24(1).
- He, P., Naghizadeh, M., Fu, Y., Dong, S., & Huang, T. (2024). Comparison studies: The aging character of mask melt blown layers, polypropylene, and polyethylene terephthalate and their adsorption behavior for tetracycline hydrochloride. *Chemical Engineering Journal*, 480.
- Jasmine, A. Maharani., & Loen, R. Benaya. (2020). *Penggunaan Video Company Profile Sebagai Sarana Informasi Dan Meningkatkan Promosi Pada PT Avoir Industry*. 2(2), 125–132.
- Karim, M. A., Juniar, H., Fitria, M., & Ambarsari, P. (2017). *Adsorpsi Ion Logam Fe Dalam Limbah Tekstil Sintetis Dengan Menggunakan Metode Batch* (Vol. 2, Issue 2).

- Lubis, Haryati. (2021). Alternatif Bahan Bakar (Haryati Lubis | 35 Nanggroe. *Nanggroe : Jurnal Pengabdian Cendikia*, 1(1), 35–37.
- Lutfi, M., Yekti, A., Asih, P., Wijaya, S., Ibad, M., & Kesehatan, F. (2023). *Literature Review : Mikroplastik Pada Berbagai Jenis Kerang Serta Dampak Terhadap Kesehatan*. 2(5).
- Meila Anggriani, U., Hasan, A., Purnamasari, I., Teknik Kimia, J., Sriwijaya, N., Srijaya, J., Bukit, N., & Palembang, B. (2021). Kinetika adsorpsi karbon aktif dalam penurunan konsentrasi logam tembaga (Cu) dan timbal (Pb). *Jurnal Kinetika*, 12(02), 29–37.
- Moura, D. S., Pestana, C. J., Moffat, C. F., Gkoulemani, N., Hui, J., Irvine, J. T. S., & Lawton, L. A. (2024). Aging microplastics enhances the adsorption of pharmaceuticals in freshwater. *Science of the Total Environment*, 912.
- Muhammad, S. F., Fadarina, & Hasan, A. (2021). Pembuatan Dan Uji Karakteristik Papan Serat Dari Serat Sabut Kelapa Dan Plastik Polipropilena Daur Ulang. *Jurnal Kinetika*, 12(02), 1–7.
- Putri, S. A., Asnawi, & Indarti, D. (2019). Optimalisasi Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B Pada Hemiselulosa Dalam Sistem Dinamis (*Optimization Of Rhodamine B Dyes On Hemiselulose In Dynamic System*).
- Rosita, Y., Yuliansyah, A. T., & Cahyono, R. B. (2022). The Kinetic Study Of Methylene Blue Adsorption Using The Red Fruit (Pandanus Conoideus) Waste Biochar. *Konversi*, 11(1).
- Sanjaya, A. S., & Agustine, R. P. (2015). Studi Kinetika Adsorpsi Pb Menggunakan Arang Aktif Dari Kulit Pisang. *Konversi*, 4(1), 17.
- Siswoyo, E., Mihara, Y., & Tanaka, S. (2014). Determination of key components and adsorption capacity of a low cost adsorbent based on sludge of drinking

water treatment plant to adsorb cadmium ion in water. *Applied Clay Science*, 97–98, 146–152.

Sutanhaji, A. T., Rahadi, B., & Firdausi, N. T. (2021). Analisis Kelimpahan Mikroplastik Pada Air Permukaan di Sungai Metro, Malang. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 8(2), 74–84.

Wang, K., Guo, C., Li, J., Wang, K., Liang, S., Wang, W., & Wang, J. (2024). A critical review of the adsorption-desorption characteristics of antibiotics on microplastics and their combined toxic effects. In *Environmental Technology and Innovation* (Vol. 35).

Wicaksono, E. A., Werorilangi, S., Galloway, T. S., & Tahir, A. (2021). Distribution and seasonal variation of microplastics in tallo river, makassar, eastern indonesia. *Toxics*, 9(6).

Widayatno, T., Yuliawati, T., & Susilo, A. A. (2017). Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dari Limbah Cair Dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1).

Yu, H., Li, G., Zhang, H., Li, Q., Wang, L., & Zhang, D. (2025). Adsorption mechanism of arsenic(V) on aged polyethylene microplastics: Isotherms, kinetics and effect of environmental factors. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2025.100711>

Yustinah., Hudzaifah., Aprilia, Maya., & Syamsudin, AB. (2019). *Keseimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dengan Adsorben Tanah Diatomit secara Batch*.

Zhao, S., Zhang, C., Zhang, Q., & Huang, Q. (2024). Small microplastic particles promote tetracycline and aureomycin adsorption by biochar in an aqueous solution. *Journal of Environmental Management*, 349. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119332>

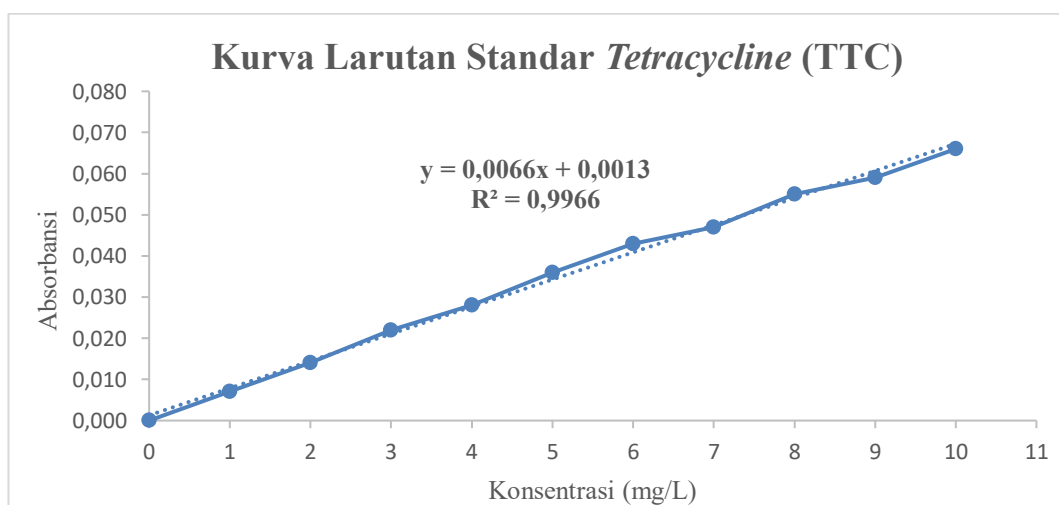
LAMPIRAN

Lampiran 1 Perhitungan

1. Perhitungan Kurva Kalibrasi Standar

Tabel Lampiran 1.1 Data Hasil Kurva Kalibrasi *Larutan Tetracycline* (TTC)

Data Kurva Standar				
Konsentrasi Rencana	Absorbans	Slope	Intercept	Konsentrasi
(mg/L)				(mg/L)
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



Gambar Lampiran 1.1 Grafik Kurva Kalibrasi *Larutan Tetracycline* (TTC)

2. Perhitungan Efisiensi Penyisihan Tetracycline (TTC) pada berbagai Variasi untuk Mengetahui Kondisi Optimum Adsorben

1) Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi pH Larutan *Tetracycline* (TTC)

Konsentrasi TTC = 5 mg/L

Volume Larutan = 25 ml

Massa Adsorben = 50 mg

Tabel Lampiran 1.2 Data Hasil Uji Variasi pH

Adsorben	Ph Rencana	pH Awal	pH Akhir	Konsentrasi Awal (C ₀)	Konsentrasi Akhir (C _e)	Kapasitas Adsorpsi (q _e)	Efisiensi Penyisihan
				mg/L	mg/L	mg/L	%
PP	3	3,67	3,35	4,95	3,44	0,76	30,58
	5	5,79	5,19	4,95	3,89	0,53	21,41
	7	7,74	7,22	4,65	3,59	0,53	22,80
	9	9,48	9,12	4,65	3,89	0,38	16,29
Foto_PP	3	3,72	3,27	4,80	2,68	1,06	44,16
	5	5,67	5,02	5,26	2,38	1,44	54,76
	7	7,72	7,07	4,65	2,68	0,98	42,35
	9	9,46	9,16	4,95	3,14	0,91	36,70

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

Contoh Perhitungan pada Foto_PP Variasi pH 5 :

- Efisiensi Penyisihan

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

$$\% \text{ Efisiensi Penyisihan} = \frac{5,26 \text{ mg/L} - 2,38 \text{ mg/L}}{5,26 \text{ mg/L}} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi Penyisihan} = 54,76\%$$

- Kapasitas Adsorpsi

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times \text{Volume Larutan}}{\text{Massa Adsorben}}$$

$$q_e = \frac{(5,26 \text{ mg/L} - 2,38 \text{ mg/L}) \times 0,025 \text{ L}}{0,05 \text{ gram}}$$

$$q_e = 1,44 \text{ mg/L}$$

Perhitungan variasi pH lainnya dilakukan dengan perhitungan yang sama.

2) Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi Konsentrasi Larutan

Tetracycline (TTC)

Volume Larutan = 25 ml

Massa Adsorben = 50 mg

Tabel Lampiran 1.3 Data Hasil Uji Variasi Konsentrasi

Adsorben	Konsentrasi Rencana	pH Awal	pH Akhir	Konsentrasi Awal (C ₀)	Konsentrasi Akhir (C _e)	Kapasitas Adsorpsi (q _e)	Efisiensi Penyisihan
	mg/L			mg/L	mg/L	mg/L	
PP	20	5	5	19,21	10,12	4,55	47,32
	25	5	5	20,98	14,92	3,03	28,88
	30	5	5	31,55	23,36	4,09	25,94
	40	5	5	40,85	31,15	4,85	23,74
	50	5	5	49,55	41,97	3,79	15,29
Foto_PP	20	5	5	19,21	8,30	5,45	56,78
	25	5	5	20,98	11,89	4,55	43,32
	30	5	5	31,55	19,73	5,91	37,46
	40	5	5	40,85	27,52	6,67	32,64
	50	5	5	49,55	34,39	7,58	30,58

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

Contoh Perhitungan pada Foto_PP Variasi Konsentrasi 20 mg/L :

- Efisiensi Penyisihan

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

$$\% \text{ Efisiensi Penyisihan} = \frac{19,21 \text{ mg/L} - 8,30 \text{ mg/L}}{19,21 \text{ mg/L}} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi Penyisihan} = 56,78\%$$

- Kapasitas Adsorpsi

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times \text{Volume Larutan}}{\text{Massa Adsorben}}$$

$$q_e = \frac{(19,21 \text{ mg/L} - 8,30 \text{ mg/L}) \times 0,025 \text{ L}}{0,05 \text{ gram}}$$

$$q_e = 1,44 \text{ mg/L}$$

Perhitungan variasi konsentrasi lainnya dilakukan dengan perhitungan yang sama.

3) Perhitungan Efisiensi Penyisihan Variasi Waktu Larutan *Tetracycline* (TTC)

Konsentrasi TTC = 20 mg/L

Volume Larutan = 25 ml

Massa Adsorben = 50 mg

Tabel Lampiran 1.4 Data Hasil Uji Variasi Waktu

Adsorben	Waktu	pH Awal	pH Akhir	Konsentrasi Awal (C ₀)	Konsentrasi Akhir (C _e)	Kapasitas Adsorpsi (q _e)	Efisiensi Penyisihan
	Menit			mg/L	mg/L	mg/L	%
PP	10	5	5	19,21	17,39	0,91	9,46
	20	5	5	19,21	17,39	0,91	9,46
	30	5	5	19,21	15,58	1,82	18,93
	60	5	5	19,21	14,97	2,12	22,08
	120	5	5	19,21	14,36	2,42	25,24
	240	5	5	19,21	13,15	3,03	31,55
	360	5	5	19,21	11,94	3,64	37,85
	1440	5	5	19,21	11,94	3,64	37,85
Foto_PP	10	5	5	19,82	18,00	0,91	9,17
	20	5	5	19,82	17,39	1,21	12,23
	30	5	5	19,82	14,97	2,42	24,46
	60	5	5	19,82	13,76	3,03	30,58
	120	5	5	19,82	12,55	3,64	36,70
	240	5	5	19,82	10,73	4,55	45,87
	360	5	5	19,82	10,12	4,85	48,93
	1440	5	5	19,82	9,52	5,15	51,99

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

Contoh Perhitungan pada Foto_PP Variasi Waktu 10 mg/L :

- Efisiensi Penyisihan

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

$$\% \text{ Efisiensi Penyisihan} = \frac{19,82 \text{ mg/L} - 18,00 \text{ mg/L}}{19,82 \text{ mg/L}} \times 100$$

$$\% \text{ Efisiensi Penyisihan} = 9,17\%$$

- Kapasitas Adsorpsi

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times \text{Volume Larutan}}{\text{Massa Adsorben}}$$

$$q_e = \frac{(19,82 \text{ mg/L} - 18,00 \text{ mg/L}) \times 0,025 \text{ L}}{0,05 \text{ gram}}$$

$$q_e = 0,91 \text{ mg/L}$$

Perhitungan variasi waktu lainnya dilakukan dengan perhitungan yang sama.

3. Perhitungan Isoterm Adsorpsi

1) Perhitungan Isoterm Langmuir

Tabel Lampiran 1.5 Data Penentuan Isoterm Langmuir

Adsorben	Konsentrasi mg/L	Massa Adsorben (mg)	Volume Larutan ml	Konsentrasi Awal (C ₀) mg/L	Konsentrasi Akhir (C _e) mg/L	Efisiensi Penyisihan %	Langmuir		
							q _e mg/g	1/C _e mg/g	1/q _e mg/L
PP	20	50	25	19,21	10,12	47,32	4,545	0,099	0,220
	25	50	25	20,98	14,92	28,88	3,030	0,067	0,330
	30	50	25	31,55	23,36	25,94	4,091	0,043	0,244
	40	50	25	40,85	31,15	23,74	4,848	0,032	0,206
	50	50	25	49,55	41,97	15,29	3,788	0,024	0,264
Foto_PP	20	50	25	19,21	8,30	56,78	5,455	0,120	0,183
	25	50	25	20,98	11,89	43,32	4,545	0,084	0,220
	30	50	25	31,55	19,73	37,46	5,909	0,051	0,169
	40	50	25	40,85	27,52	32,64	6,667	0,036	0,150
	50	50	25	49,55	34,39	30,58	7,576	0,029	0,132

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

Tabel Lampiran 1.6 Hasil Perhitungan Isoterm Langmuir

Persamaan Langmuir					
Adsorben	Slope	Intercept	$q_{\max}$ (mg/g)	K_L	R^2
PP	0,2412	0,2114	4,146	1,141	0,911
Foto_PP	0,1085	1,019	9,217	0,106	0,9409

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

Contoh Perhitungan Isoterm Langmuir pada Adsorben PP :

- Perhitungan nilai $q_{\max}$

$$q_{\max} = \frac{1}{\text{Slope}}$$

$$q_{\max} = \frac{1}{0,2412}$$

$$q_{\max} = 4,146 \text{ mg/g}$$

- Perhitungan nilai K_L

$$K_L = \frac{1}{\text{Intercept} \times q_{\max}}$$

$$K_L = \frac{1}{\text{Intercept} \times q_{\max}}$$

$$K_L = \frac{1}{0,2114 \times 4,146}$$

Perhitungan isoterm langmuir lainnya dilakukan dengan perhitungan yang sama.

2) Perhitungan Isoterm Freundlich

Tabel Lampiran 1.7 Data Penentuan Isoterm Freundlich

Adsorben	Konsentrasi mg/L	Massa Adsorben mg	Volume Larutan Ml	Konsentrasi Awal (C ₀) mg/L	Konsentrasi Akhir (C _e) mg/L	Efisiensi Penyisihan %	Freundlich		
							q _e mg/g	Log C _e	Log Q _e
PP	20	50	25	19,21	10,12	47,32	4,545	1,005	0,658
	25	50	25	20,98	14,92	28,88	3,030	1,174	0,481
	30	50	25	31,55	23,36	25,94	4,091	1,369	0,612
	40	50	25	40,85	31,15	23,74	4,848	1,493	0,686
	50	50	25	49,55	41,97	15,29	3,788	1,623	0,578
Foto_PP	20	50	25	19,21	8,30	56,78	5,455	0,919	0,737
	25	50	25	20,98	11,89	43,32	4,545	1,075	0,658
	30	50	25	31,55	19,73	37,46	5,909	1,295	0,772
	40	50	25	40,85	27,52	32,64	6,667	1,440	0,824
	50	50	25	49,55	34,39	30,58	7,576	1,536	0,879

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

Tabel Lampiran 1.8 Hasil Perhitungan Isoterm Freundlich

Persamaan Freundlich						
Nama	Slope	Intercept	n	1/n	K _f	R ²
PP	0,0323	0,5599	30,960	0,032	3,630	0,0101
Foto_PP	0,2778	0,4257	3,600	0,278	2,665	0,7026

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

Contoh Perhitungan Isoterm Freundlich pada Adsorben PP :

- Perhitungan nilai 1/n

$$\frac{1}{n} = \text{Slope}$$

$$\frac{1}{n} = 0,0323$$

- Perhitungan nilai n

$$n = \frac{1}{\text{Slope}}$$

$$n = \frac{1}{0,0323}$$

$$n = 30,960$$

- Perhitungan nilai K_f

$$K_f = 10^{\text{intercept}}$$

$$K_f = 10^{0,5599}$$

$$K_f = 3,630 \text{ mg/g}$$

Perhitungan isotherm freundlich lainnya dilakukan dengan perhitungan yang sama.

4. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

1) Perhitungan Kinetika Adsorpsi *Pseode-First Order*

Tabel Lampiran 1.9 Data Penentuan *Pseudo-First Order*

Adsorben	Konsentrasi	Waktu	Massa Adsorben	Volume Larutan	Konsentrasi Awal (C ₀)	Konsentrasi Akhir (C _e)	Efisiensi Penyisihan	<i>Pseudo-First Order</i>			
								q _e (mg/g)	q _t (mg/g)	q _e -q _t (mg/g)	ln (q _e -q _t)
PP	20	10	50	25	19,21	17,39	9,46	3,64	0,91	2,73	1,003
	20	20	50	25	19,21	17,39	9,46	3,64	0,91	2,73	1,003
	20	30	50	25	19,21	15,58	18,93	3,64	1,82	1,82	0,598
	20	60	50	25	19,21	14,97	22,08	3,64	2,12	1,52	0,416
	20	120	50	25	19,21	14,36	25,24	3,64	2,42	1,21	0,192
	20	240	50	25	19,21	13,15	31,55	3,64	3,03	0,61	-0,501
	20	360	50	25	19,21	11,94	37,85	3,64	3,64	0,00	#NUM!
	20	1440	50	25	19,21	11,94	37,85	3,64	3,64	0,00	#NUM!
Foto_PP	20	10	50	25	19,82	18,00	9,17	5,15	0,91	4,24	1,445
	20	20	50	25	19,82	17,39	12,23	5,15	1,21	3,94	1,371
	20	30	50	25	19,82	14,97	24,46	5,15	2,42	2,73	1,003
	20	60	50	25	19,82	13,76	30,58	5,15	3,03	2,12	0,752
	20	120	50	25	19,82	12,55	36,70	5,15	3,64	1,52	0,416
	20	240	50	25	19,82	10,73	45,87	5,15	4,55	0,61	-0,501
	20	360	50	25	19,82	10,12	48,93	5,15	4,85	0,30	-1,194
	20	1440	50	25	19,82	9,52	51,99	5,15	5,15	0,00	#NUM!

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

Perhitungan *Pseudo-First Order*

Contoh Perhitungan *Pseudo-First Order* pada Adsorben PP dengan Waktu Kontak 10 menit :

- Kapasitas Adsorpsi pada Waktu 10 menit (q_t)

$$q_t = \frac{(C_0 - C_e) \times \text{Volume Larutan}}{\text{Massa Adsorben}}$$

$$q_t = \frac{(19,21 \text{ mg/L} - 17,39 \text{ mg/L}) \times 0,025 \text{ L}}{0,05 \text{ g}}$$

$$q_t = 0,91 \text{ mg/g}$$

- $q_e - q_t$

$$q_e - q_t = 3,64 \text{ mg/g} - 0,91 \text{ mg/g}$$

$$q_e - q_t = 2,73 \text{ mg/g}$$

- $\ln (q_e - q_t)$

$$\ln (q_e - q_t) = \ln (3,64 \text{ mg/g} - 0,91 \text{ mg/g})$$

$$\ln (q_e - q_t) = \ln (2,73 \text{ mg/g})$$

$$\ln (q_e - q_t) = 1,003$$

Tabel Lampiran 1.10 Hasil Perhitungan *Pseudo-First Order*

Pseudo-First Order					
Adsorben	Slope	k_1	Intercept	q_e (mg/g)	R^2
PP	-0,006	0,006	0,952	2,590	0,938
Foto PP	-0,007	0,007	1,353	3,869	0,980

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

- Perhitungan Konstanta Laju Persamaan *Pseudo-First Order*

$$k_1 = - \text{Slope}$$

$$k_1 = - (-0,006)$$

$$k_1 = 0,006$$

- Perhitungan Kapasitas Adsorpsi saat Setimbang

$$q_e = e^{\text{intercept}}$$

$$q_e = e^{0,952}$$

$$q_e = 2,590 \text{ mg/g}$$

Perhitungan *Pseudo-First Order* lainnya dilakukan dengan perhitungan yang sama

2) Perhitungan Kinetika Adsorpsi *Pseode-Second Order*

Tabel Lampiran 1.11 Data Penentuan *Pseudo-Second Order*

Adsorben	Konsentrasi	Waktu	Massa Adsorben	Volume Larutan	Konsentrasi Awal (C ₀)	Konsentrasi Akhir (C _e)	Efisiensi Penyisihan	Pseudo-Second Order			
								q _e	q _t	t/q _t	t ^{0,5}
	mg/L	Menit	mg	ml	mg/L	mg/L	%	mg/g	mg/g		
PP	20	10	50	25	19,21	17,39	9,46	3,64	0,91	11	3,16
	20	20	50	25	19,21	17,39	9,46	3,64	0,91	22	4,47
	20	30	50	25	19,21	15,58	18,93	3,64	1,82	17	5,48
	20	60	50	25	19,21	14,97	22,08	3,64	2,12	28	7,75
	20	120	50	25	19,21	14,36	25,24	3,64	2,42	50	10,95
	20	240	50	25	19,21	13,15	31,55	3,64	3,03	79	15,49
	20	360	50	25	19,21	11,94	37,85	3,64	3,64	99	18,97
	20	1440	50	25	19,21	11,94	37,85	3,64	3,64	396	37,95
Foto_PP	20	10	50	25	19,82	18,00	9,17	5,15	0,91	11	3,16
	20	20	50	25	19,82	17,39	12,23	5,15	1,21	17	4,47
	20	30	50	25	19,82	14,97	24,46	5,15	2,42	12	5,48
	20	60	50	25	19,82	13,76	30,58	5,15	3,03	20	7,75
	20	120	50	25	19,82	12,55	36,70	5,15	3,64	33	10,95
	20	240	50	25	19,82	10,73	45,87	5,15	4,55	53	15,49
	20	360	50	25	19,82	10,12	48,93	5,15	4,85	74	18,97
	20	1440	50	25	19,82	9,52	51,99	5,15	5,15	280	37,95

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

Perhitungan *Pseudo-Second Order*

Contoh Perhitungan *Pseudo-Second Order* pada Adsorben PP dengan Waktu Kontak 10 menit :

- Kapasitas Adsorpsi pada Waktu 10 menit (q_t)

$$q_t = \frac{(C_0 - C_e) \times \text{Volume Larutan}}{\text{Massa Adsorben}}$$

$$q_t = \frac{(19,21 \text{ mg/L} - 17,39 \text{ mg/L}) \times 0,025 \text{ L}}{0,05 \text{ g}}$$

$$q_t = 0,91 \text{ mg/g}$$

- Rasio antara Waktu dengan Kapasitas Adsorpsi pada Waktu 10 menit

$$\left(\frac{t}{q_t}\right)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{10 \text{ menit}}{0,91 \text{ mg/g}}$$

$$\frac{t}{q_t} = 11$$

- $t^{0,5}$

$$t^{0,5} = 100,5$$

$$t^{0,5} = 3,16$$

Tabel Lampiran 1.12 Hasil Perhitungan *Pseudo-Second Order*

Pseudo-Second Order					
Adsorben	Slope	k2	Intercept	qe (mg/g)	R ²
PP	0,289	0,007	11,261	3,455	0,982
Foto_PP	0,181	0,003	9,752	5,519	0,984

Keterangan :

PP = Polypropylene (PP) Sebelum Fotodegradasi

Foto_PP = Polypropylene (PP) Setelah Fotodegradasi

- Perhitungan Konstanta Laju Persamaan *Pseudo-Second Order*

$$K_2 = \frac{1}{\text{Intercept} \times q_e^2}$$

$$K_2 = \frac{1}{11,261 \times 3,455^2}$$

$$K_2 = 0,007$$

- Perhitungan Kapasitas Adsorpsi saat Setimbang

$$q_e = \frac{1}{Slope}$$

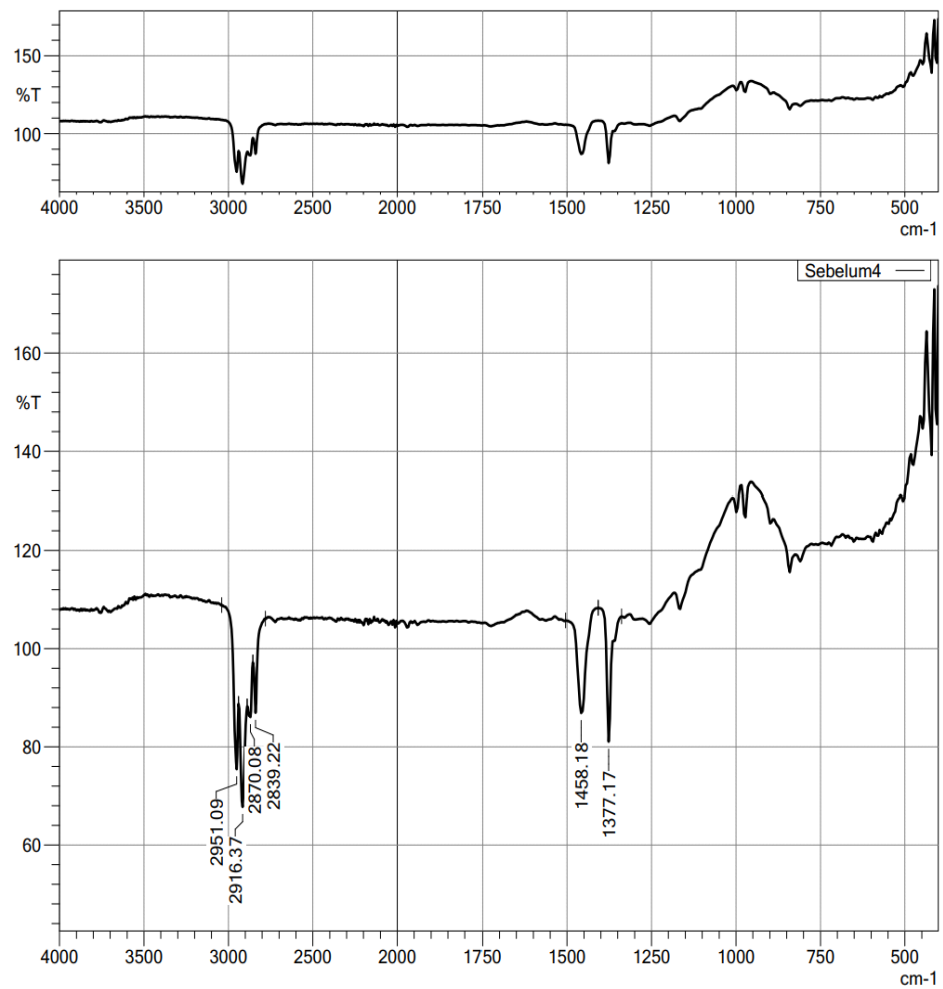
$$q_e = \frac{1}{0,289}$$

$$q_e = 3,455 \text{ mg/g}$$

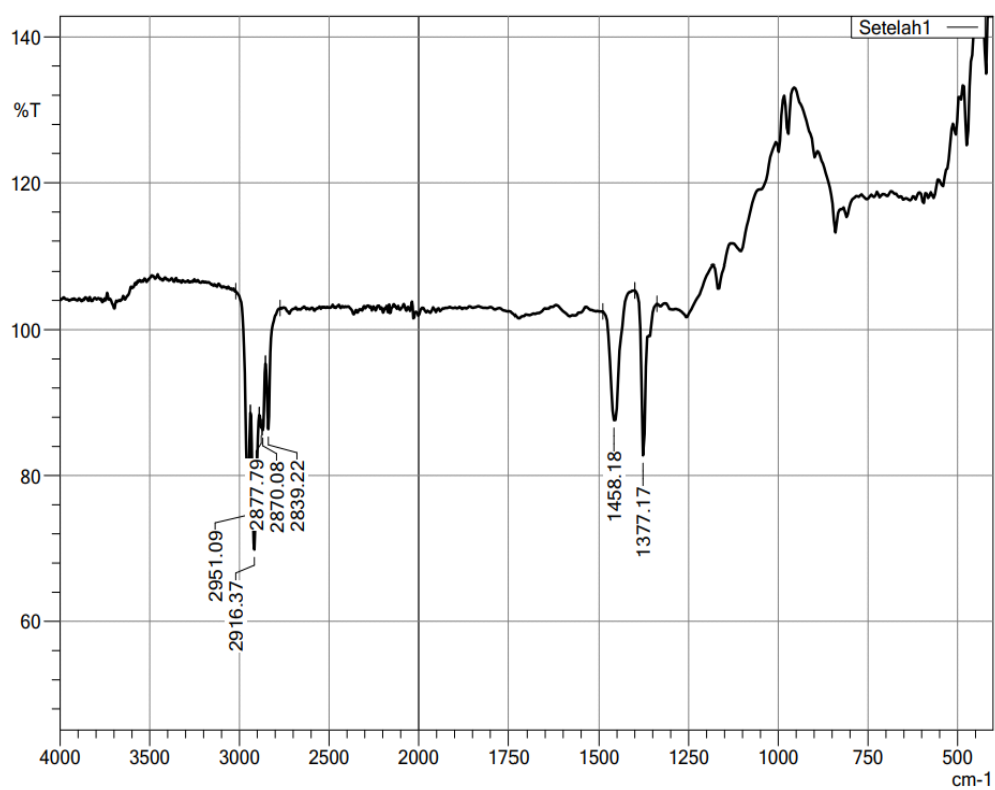
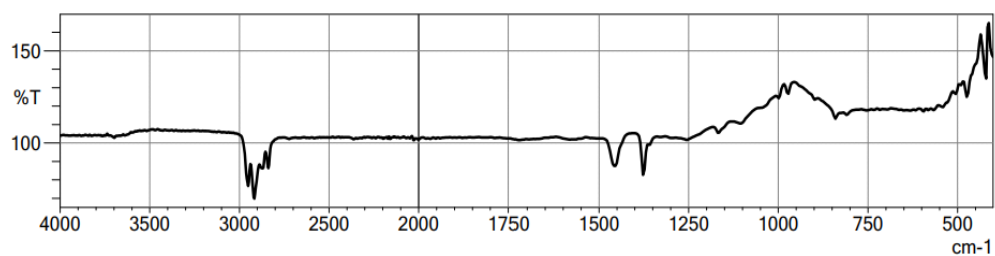
Perhitungan *Pseudo-Second Order* lainnya dilakukan dengan perhitungan yang sama.

Lampiran 2 Data Karakteristik FTIR

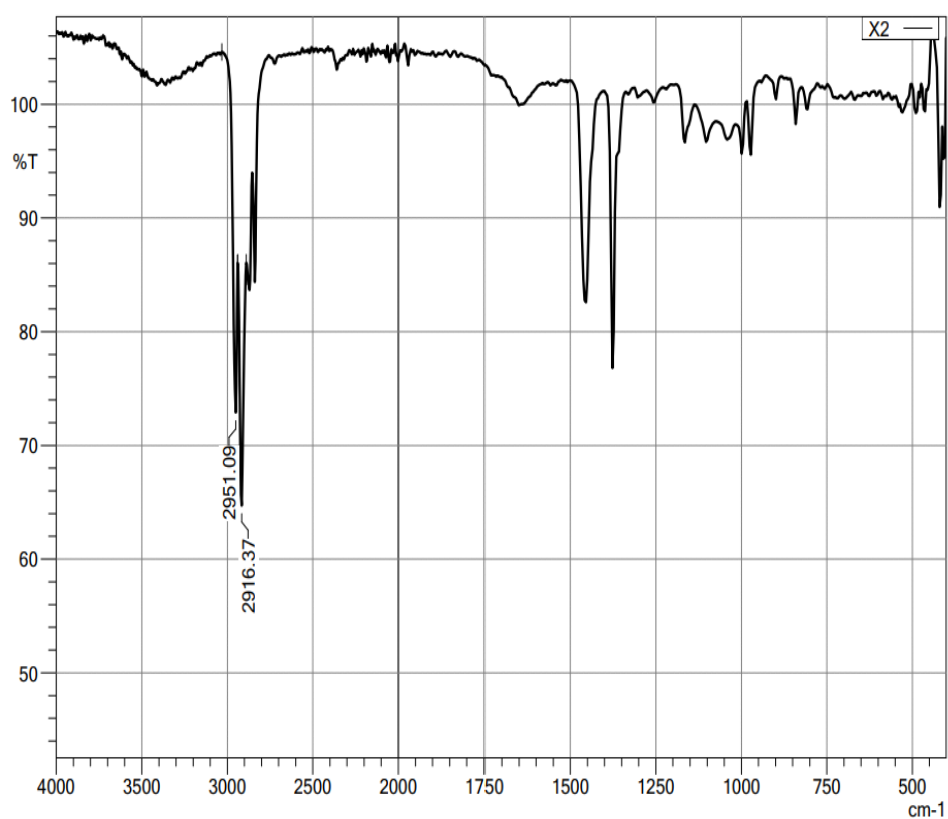
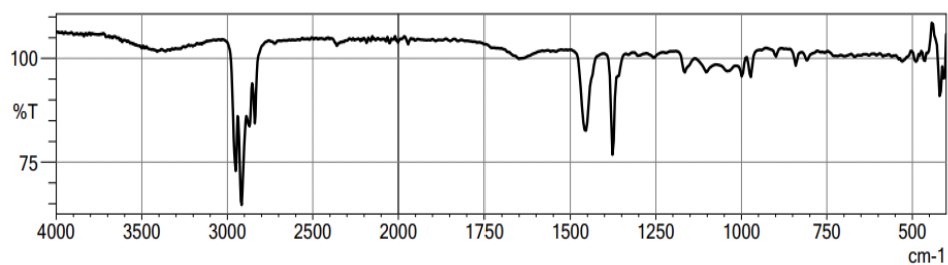
1. Polypropylene Sebelum Fotodegradasi (PP)



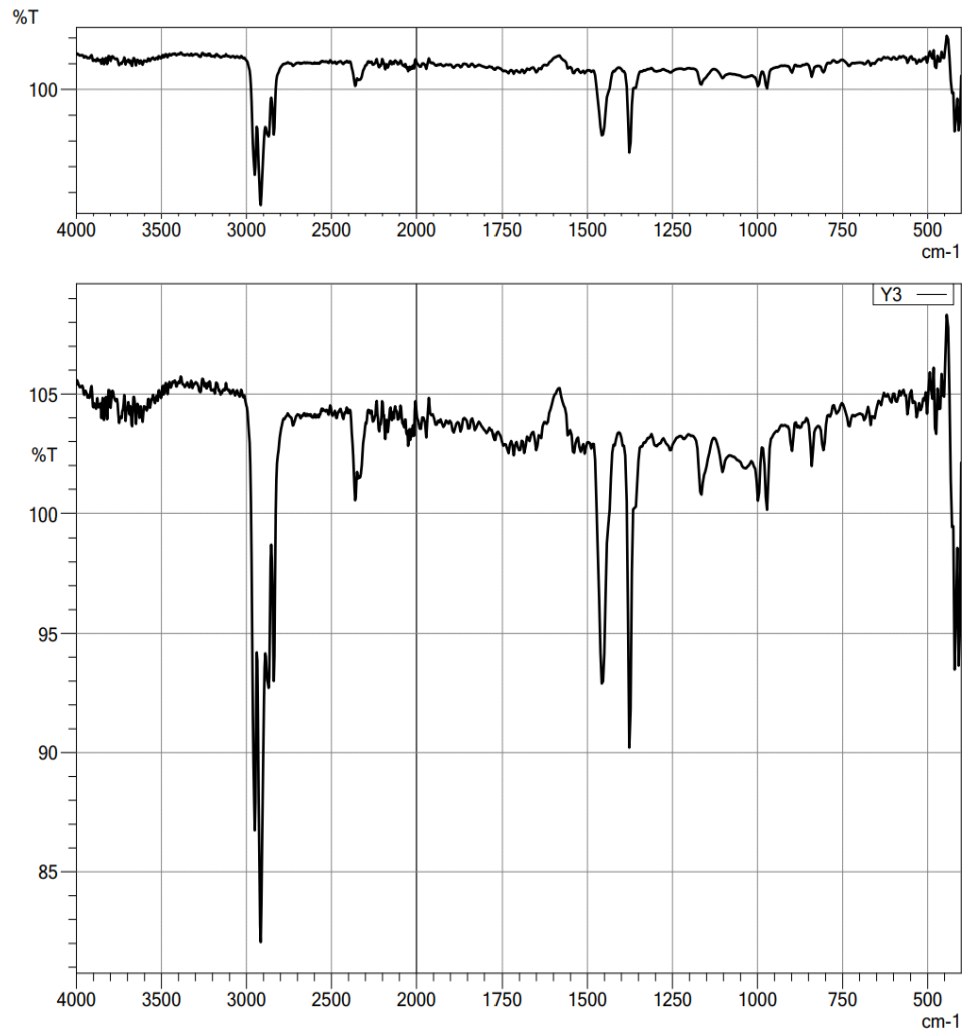
2. Polypropylene Setelah Fotodegradasi (Foto_PP)



3. Polypropylene Sebelum Fotodegradasi Setelah Adsorpsi (PP Adsorpsi)



4. Polypropylene Setelah Fotodegradasi Setelah Adsorpsi (Foto_PP Adsorpsi)



Lampiran 3 Dokumentasi

1. Fotodegradasi Biji Plastik Polypropylene (PP)



Menghaluskan Biji Plastik
PP



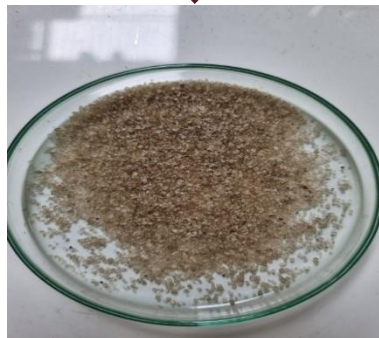
Plastik PP di saring
dengan ukuran 30 mesh



Plastik PP ditimbang



Plastik PP di
fotodegradasi selama 7
hari dengan UV 20 watt

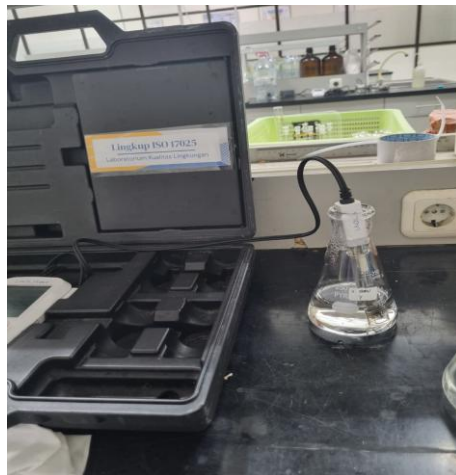


Hasil Plastik PP setelah
fotodegradasi

2. Pengujian Adsorpsi



Variasi pH, Konsentrasi dan Waktu



Pembacaan pH dengan pH meter



Pembacaan konsentrasi dengan Spektrofotometer Uv-Vis

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Puti Ayu Maharani, lahir di Bengkulu 12 Maret 2003. Penulis merupakan anak ketiga dari Bapak Muhamad Sil dan Ibu Sri Rahayu. Penulis pertama kali masuk SD MIN 2 Kota Bengkulu pada tahun 2009 dan melanjutkan pendidikan SMP Negeri 5 Kota Bengkulu pada tahun 2015. Setelah tamat dari SMP, penulis melanjutkan pendidikan SMA Negeri 7 Kota Bengkulu dan menamatkan pada tahun 2021. Pada tahun 2021, penulis melanjutkan pendidikan ke perguruan tinggi swasta dan terdaftar sebagai Mahasiswa di Universitas Islam Indonesia, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Lingkungan. Selama masa perkuliahan, penulis mengikuti kepanitiaan seperti Enviro Champions 2022 dan Lintas Lingkungan 2022. Pada akhir masa studi perkuliahan, penulis melakukan penelitian tugas akhir dengan judul “Adsorpsi Antibiotik *Tetracycline* (TTC) pada Mikroplastik *Polypropylene* (PP)”.