

## TUGAS AKHIR

### KEMAMPUAN ULAT JERMAN (*Zophobas morio*) DALAM MENURUNKAN BERAT SAMPAH PLASTIK



**MUHAMMAD FARREL ALFIRDAUS**

**NIM: 221110100**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA SANITASI  
JURUSAN KESEHATAN LINGKUNGAN  
KEMENKES POLTEKKES PADANG**

**2025**

TUGAS AKHIR

**KEMAMPUAN ULAT JERMAN (*Zophobas morio*) DALAM  
MENURUNKAN BERAT SAMPAH PLASTIK**

Disajikan ke Program Studi Diploma Tiga sanitasi Kemenkes Poltekkes Padang sebagai  
salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Ahli Madya Kesehatan



MIUHAMMAD FARREL ALFIRDAUS

NIM: 221110100

PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA SANITASI  
JURUSAN KESEHATAN LINGKUNGAN  
KEMENKES POLTEKKES PADANG

2025

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

### Tugas Akhir "KEMAMPUAN ULAT JERMAN (*Zophobas morio*) DALAM MENURUNKAN BERAT SAMPAH PLASTIK"

Ditulis oleh

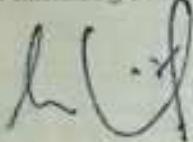
NAMA : Muhammad Farrel Alfirdaus  
NIM : 221110100

Telah disetujui oleh pembimbing pada tanggal:

18 Juni 2025

Menyetujui

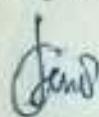
Pembimbing Utama



Dr. Muchsin Riviwanto, SKM, M.Si

NIP. 19700629 199303 1 001

Pembimbing Pendamping

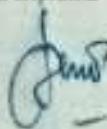


Lindawati, SKM, M.Kes

NIP. 19750613 200012 2 002

Padang, 18 Juni 2025

Ketua Prodi Diploma Tiga Sintasi



Lindawati, SKM, M.Kes

NIP. 19750613 200012 2 002

HALAMAN PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

"KEMAMPUAN ULAT JERMAN (*Zophobas morio*) DALAM MENURUNKAN  
BERAT SAMPAH PLASTIK"

Dosen Olah

Muhammed Farrel Alfirdaus

221110100

Telah dipertahankan dalam seminar di depan Dewan Pengaji  
Pada tanggal 19 Juni 2025

SUSUNAN DEWAN PENGAJI

Ketua,

Mahara, SKM, MM

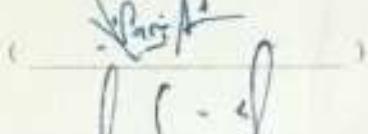
NIP. 19720323 199703 1 003



Anggota,

Sari Arifunda, SKM, MM

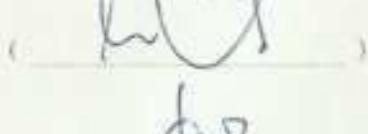
NIP. 19800902 200501 2 004



Anggota,

Dr. Muchlis Riviwanto, SKM, M.Si

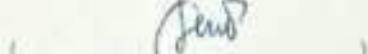
NIP. 19700629 199303 1 001



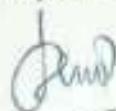
Anggota,

Lindawati, SKM, M.Kes

NIP. 19750613 200012 2 002



Padang, 19 Juni 2025  
Ketua Prodi Diploma Tiga Sunitai



Lindawati, SKM, M.Kes  
NIP. 19750613 200012 2 002

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### A. Identitas Diri

Nama : Muhammad Farrel Alfirdaus  
Tempat/Tanggal Lahir : Jakarta/09 Mei 2003  
Agama : Islam  
Alamat : Korong Tabik, Kapau, Tilatang Kamang,  
Kabupaten Agam  
Nama Orang Tua  
Ayah : Abdul Aziz Firdaus Heri Purnomo  
Bunda : Ira Hidayati  
Nomor Telepon : 085265668168  
Email : [Farrelfirdaus9@gmail.com](mailto:Farrelfirdaus9@gmail.com)

### B. Riwayat Pendidikan

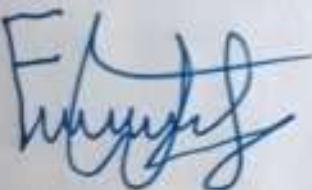
No	Riwayat Pendidikan	Tahun Lulus
1.	TK Fatimah Koto Tangah Tilatang Kamang	2008-2009
2.	SDN 01 Kapau	2009-2015
3.	SMP N 6 Bukittinggi	2015-2018
4.	SMA N 1 Bukittinggi	2018-2021
5.	Program Studi D3 Sanitasi Kemenkes Poltekkes Padang	2022-2025

### HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir ini adalah hasil karya penulis sendiri, dan semua sumber yang dikutip maupun dirujuk telah penulis nyatakan dengan benar

Nama : Muhammad Farrel Alfirdaus

NIM : 221110100

Tanda Tangan : 

Tanggal : 18 Juni 2025

#### PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Yang bertanda tangan dibawah ini : Muhammad Farrel Alfirdaus  
NIM : 221110100  
Tanggal lahir : Jakarta, 09 Mei 2003  
Tahun masuk : 2022  
Nama Pembimbing Akademik : Basuki Ario Seno, SKM, M.Kes  
Nama Pembimbing Utama : Dr. Muchsin Riviwanto, SKM, M.Si  
Nama Pembimbing Pendamping : Lindawati, SKM, M.Kes

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan kegiatan plagiasi dalam penulisan Laporan Hasil Tugas Akhir saya yang berjudul:

## "Kemampuan Ulat Jerman (*Zophobas morio*) Dalam Menurunkan Berat Sampah Plastik"

Apabila suatu saat nanti saya terbukti melakukan plagiasi, maka saya siap menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Padang, 18 Juni 2025

(Muhammad Farrel Aljufraus)

NIM:221110100

## HALAMAN PENYERAHAN TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

Sebagai sivitas akademika Kemenkes Poltekkes Padang, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Farrel Alfirdaus  
NIM : 2221110100  
Program Studi : D3 Sanitasi  
Jurusan : Kesehatan Lingkungan

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Kemenkes Poltekkes Padang **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (Non Exclusive Royalty-Free Right)** atas Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Kemampuan Ulat Jerman (*Zophobas morio*) Dalam Menurunkan Berat Sampah Plastik”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Kemenkes Poltekkes Padang berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalian data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Padang  
Pada Tanggal : 18 Juni 2024  
Yang Menyatakan,



(Muhammad Farrel Alfirdaus)

**Program Studi Diploma Tiga Sanitasi  
Jurusan Kesehatan Lingkungan  
Tugas Akhir, Juni 2025  
Muhammad Farrel Alfirdaus**

**Kemampuan Ulat Jerman (*Zophobas morio*) Dalam Menurunkan Berat Sampah Plastik**

**ABSTRAK**

Produksi global plastik mencapai 413,8 juta ton pada tahun 2023 dengan persentase 19,7% dari total timbulan sampah global. Sampah anorganik tergolong kedalam sampah yang sulit membusuk, seperti plastik, karet, gelang, dan sebagainya. Dari sekian banyak metode, ada metode pengolahan sampah plastik yang menawarkan biaya yang rendah dan lebih ramah lingkungan. Salah satu metodenya adalah penggunaan serangga yang memiliki kemampuan untuk memakan plastik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan Ulat Jerman (*Zophobas morio*) dalam menurunkan berat sampah plastik.

Jenis penelitian yang dilakukan adalah eksperimental dengan desain eksperimen semu dengan melihat kemampuan penurunan berat sampah plastik kantong kresek *High-Density Polyethylene* (HDPE), plastik bungkus makanan *Low-Density Polyethylene* (LDPE), dan *styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) setelah perlakuan sampel memanfaatkan 200 larva Ulat Jerman (*Zophobas morio*). Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Januari-Juni 2025 pada rumah yang dikondisikan untuk memungkinkan berjalannya penelitian.

Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan bahwa Ulat Jerman mampu menurunkan berat sampah dengan persentase penurunan berat sampah plastik kantong kresek *High-Density Polyethylene* (HDPE) sebesar 10,2 %, plastik bungkus makanan *Low-Density Polyethylene* (LDPE) sebesar 11,8 %, dan *styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) sebesar 66,6 %.

Disarankan kepada peneliti selanjutnya agar dapat mempelajari bagaimana cara menekan angka kematian Ulat Jerman, mempercepat proses penguraian sampah plastik dengan menggunakan Ulat Jerman, mempelajari alternatif lain selain Ulat Jerman, dan dampak dari konsumsi Ulat Jerman yang telah mengonsumsi sampah plastik.

xi + 35 halaman, 23 (2009-2025) Daftar Pustaka, 4 lampiran, 4 gambar, 4 tabel  
Kata kunci : Ulat Jerman, Sampah Plastik, Biodegradasi

**Study Program of Diploma Three Sanitation**

**Major of Environmental Health**

**Final Assignment, June 2025**

**Muhammad Farrel Alfirdaus**

**The Ability of Superworm (*Zophobas morio*) to Reduce the Weight of Plastic Waste**

**ABSTRACT**

Global plastic production will reach 413.8 million tons in 2023, with percentage 19.7% of total global waste generation. Anorganic waste classified as waste that difficult to decompose, such as plastic, rubber, bracelets, and so on. From many methods, there is a plastic waste processing method offers low costs and is more environmental friendly. One of them is use of insects that have the ability to eat plastic. This study aims to determine the ability of Superworm (*Zophobas morio*) to reduce the weight of plastic waste.

The type of research conducted is experimental with pseudo-experimental design by looking at the ability to reduce the weight of High-Density Polyethylene (HDPE) plastic bag waste, Low-Density Polyethylene (LDPE) food packaging plastic, and Expanded Polystyrene (EPS) styrofoam after sample treatment using 200 Superworm larvae (*Zophobas morio*). This research was conducted from January-June 2025 in house that was conditioned to allow the research to be implemented.

Based on the results, found out that Superworm were able to reduce weight of waste with percentage reduction weight of High-Density Polyethylene (HDPE) plastic bags of 10.2%, Low-Density Polyethylene (LDPE) food packaging plastic of 11.8%, and Expanded Polystyrene (EPS) styrofoam of 66.6%.

It is recommended that future researchers study how to reduce death rate of Superworm, accelerate process of degrading plastic waste using Superworm, study other alternatives besides Superworm, and impact of consuming Superworm that consumed plastic waste.

xi + 35 pages, 23 (2009-2025) Bibliography, 4 attachments, 4 pictures, 4 tables

Keywords : Superworm, Plastic Waste, Biodegradation

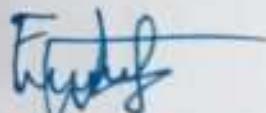
## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Ahli Gelar Madya Kesehatan pada Program Studi Diploma Tiga Sanitasi Jurusan kesehatan lingkungan, Kemenkes Poltekkes Padang. Tugas akhir ini terwujud atas bimbingan dan pengarahan dari Bapak Dr. Muchsin Riwanto, SKM, M.Si selaku Pembimbing Utama dan Ibu Lindawati SKM, M.Kes selaku Pembimbing Pendamping serta bantuan dari berbagai pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Penulis pada kesempatan ini menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu Renidayanti, S.Kp, M.Kep, Sp.jiwa selaku Direktur Kemenkes Poltekkes Padang
2. Bapak Dr. Muchsin Riwanto, SKM, M.Si selaku Ketua Jurusan Kesehatan Lingkungan Kemenkes Poltekkes Padang
3. Ibu Lindawati, SKM, M.Kes selaku Ketua Prodi Diploma Tiga Sanitasi Jurusan Kesehatan Lingkungan Kemenkes Poltekkes Padang
4. Bapak Basuki Ario Seno SKM, M.Kes selaku Pembimbing Akademik

Akhir kata penulis berharap tugas akhir ini bermanfaat khususnya bagi penulis sendiri dan pihak yang telah membacanya, serta penulis mendoakan semoga segala bantuan yang telah diberikan mendapat balasan dari Allah SWT, Amiin.

Padang, 18 Juni 2025



MFA

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	v
PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT .....	vi
HALAMAN PENYERAHAN TUGAS AKHIR.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Tujuan .....	4
D. Manfaat Penelitian .....	4
E. Ruang Lingkup.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
A. Sampah Plastik.....	6
B. Ulat Jerman ( <i>Zophobas morio</i> ).....	9
C. Alur Pikir .....	19
D. Definisi Operasional.....	19
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>	<b>20</b>
A. Jenis Penelitian.....	20
B. Waktu dan Tempat .....	20
C. Bahan dan Alat.....	20
D. Teknik Pengumpulan Data .....	21
E. Prosedur Penelitian.....	21
F. Pengolahan Data.....	22
G. Analisis data.....	22
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>23</b>
A. Gambaran Umum Penelitian .....	23
B. Hasil Penelitian .....	24
C. Pembahasan.....	27
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>35</b>
A. Kesimpulan .....	35
B. Saran .....	35
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Definisi Operasional.....	19
Tabel 4. 1 Persentase Penurunan Berat Sampah Plastik Kantong Kresek <i>High-Density Polyethylene</i> (HDPE) Oleh 200 Larva Ulat Jerman ( <i>Zophobas morio</i> ) .....	24
Tabel 4. 2 Persentase Penurunan Berat Sampah Plastik Bungkus Makanan <i>Low-Density Polyethylene</i> (LDPE) Oleh 200 Larva Ulat Jerman ( <i>Zophobas morio</i> ) .....	25
Tabel 4. 3 Persentase Penurunan Berat Sampah Styrofoam <i>Expanded Polystyrene</i> (EPS) Oleh 200 Larva Ulat Jerman ( <i>Zophobas morio</i> ) .....	26

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Taksonomi Ulat Jerman (Fursov, 2018) .....	9
Gambar 2. 2 Telur (A), Larva (B), Pupa (C), dan Imago (D) dari Ulat Jerman (Rumbos, 2021) .....	11
Gambar 2. 3 Biodegradasi Plastik Oleh Serangga (Alexander Martin, 1930) .....	18
Gambar 2. 4 Alur Pikir.....	19

## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1. Tabel
- Lampiran 2. Dokumentasi
- Lampiran 3. Lembar Konsultasi
- Lampiran 4. Hasil Pengecekan Plagiasi

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Produksi sampah kota diperkirakan meningkat dari 2,1 miliar ton pada tahun 2023 menjadi 3,8 miliar ton pada tahun 2050. Pada tahun 1950, produksi plastik dimulai sekitar 2 juta ton, dan meningkat menjadi 368 juta ton pada tahun 2019. Produksi global plastik mencapai 413,8 juta ton pada tahun 2023 dengan persentase 19,7% dari total timbulan sampah global. Produksi plastik global tahunan lebih dari 359 juta ton.<sup>1</sup>

Target pengelolaan sampah nasional sebagaimana dijelaskan pada ayat (1) a dan b, yaitu pengurangan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga sebesar 30% (tiga puluh persen) dari angka timbulan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga sebelum adanya kebijakan dan strategi nasional pengurangan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga di tahun 2025 ; dan penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga sebesar 70% (tujuh puluh persen) dari angka timbulan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga sebelum adanya kebijakan dan strategi nasional penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga di tahun 2025.<sup>2</sup>

Berdasarkan zat kimianya, sampah dapat dibedakan menjadi sampah organik seperti sisa makanan, daun, sayur, dan buah, serta sampah anorganik seperti logam, pecah belah, abu, plastik, dan lain-lain. Sampah organik tergolong kedalam sampah yang mudah membusuk, seperti sisa makanan, potongan daging, dan sebagainya. Sedangkan sampah anorganik tergolong kedalam sampah yang sulit membusuk, seperti plastik, karet, gelang, dan sebagainya.<sup>3</sup>

Selain klasifikasi tradisional di atas, *Society of the Plastic Industry* (SPI) memperkenalkan sistem kode angka untuk plastik. Dalam klasifikasi ini, angka dari 1 hingga 7 telah ditetapkan untuk berbagai jenis plastik dengan urutan sebagai berikut: 1 untuk *Polyethylene Terephthalate* (PETE) dengan

ketebalan 0.2 mm-3 mm, 2 untuk *High Density Polyethylene* (HDPE) dengan ketebalan 0.3 mm-100 mm, 3 untuk *Polyvinyl Chloride* (PVC) dengan ketebalan 0.6 mm-50 mm, 4 untuk *Low-Density Polyethylene* (LDPE) dengan ketebalan 0.15 mm-40 mm, 5 untuk *Polypropylene* (PP) dengan ketebalan 0.5 mm-70 mm, 6 untuk *Polystyrene* (PS) dengan ketebalan 0.02 mm-12 mm, dan 7 untuk jenis plastik lainnya dengan ketebalan 0.45 mm- 3.556 mm.<sup>4</sup>

Sumber sampah plastik juga dapat dikategorikan berdasarkan aplikasinya (misalnya, botol/tutup/tutup botol: 14,9%, botol PET: 12,5%, kantong supermarket/kantong ritel: 9,3%, kantong makanan: 6,5%, wadah makanan: 2,1%, dll.) dan asal (misalnya, limbah padat kota dan limbah agroindustri). Kantong plastik makanan umumnya terbuat dari jenis plastik berbahan *High-Density Polyethylene* (HDPE) dan *Low-Density Polyethylene* (LDPE). Sedangkan, wadah makanan umumnya terbuat dari jenis plastik berbahan *Polystyrene* (PS).<sup>4</sup>

Dari beberapa penelitian terdahulu menemukan bahwa proses biodegradasi dengan memanfaatkan Ulat Jerman yang paling efektif terjadi pada jenis sampah plastik *Low-Density Polyethylene* (LDPE), *Polystyrene* (PS), dan beberapa jenis plastik *High Density Polyethylene* (HDPE). Ulat Jerman juga mampu menguraikan beberapa jenis sampah plastik lain seperti *Polyvinyl Chloride* (PVC) dan *Polypropylene* (PP). Namun, proses biodegradasi yang ditemukan memiliki efektivitas yang rendah.<sup>5</sup>

Pengolahan sampah organik sudah banyak dilakukan oleh berbagai kalangan, seperti pengolahan kompos, bio gas, dan biopori. Sedangkan pengolahan sampah anorganik kebanyakan masih dilakukan dengan cara mendaur ulang sampah, penimbunan, atau pembakaran sampah. Tetapi jarang sekali pengolahan sampah anorganik dilakukan dengan cara penguraian seperti metode biodegradasi. Pembuangan metode tradisional seperti penimbunan dan pembakaran telah terbukti menyebabkannya permasalahan lingkungan hidup yang serius.<sup>6</sup>

Metode pengolahan sampah plastik tradisional yang biasanya dilakukan antara lain daur ulang, insinerasi, dan penimbunan sampah. Metode

daur ulang dilakukan dengan cara mengolah kembali sampah menjadi bahan baku baru yang dapat digunakan untuk membuat produk baru. Metode insinerasi dilakukan dengan cara mengolah sampah plastik dengan pembakaran pada suhu tinggi. Namun, metode tradisional ini ditemukan tidak efisien bahkan berdampak buruk bagi lingkungan dan makhluk hidup.<sup>7</sup>

Dari sekian banyak metode, ada metode pengolahan sampah plastik yang menawarkan biaya yang rendah dan lebih ramah lingkungan. Salah satu metodenya adalah penggunaan serangga yang memiliki kemampuan untuk memakan plastik. Serangga yang digunakan untuk proses penguraian berada pada fase larva. Dari berbagai larva yang sejenis, larva serangga yang digunakan pada penelitian ini larva berjenis *Zophobas morio*. Konsep degradasi plastik yang dapat dilakukan oleh serangga sudah banyak diketahui oleh para peneliti, meskipun penyebab pasti terjadinya degradasi masih belum sepenuhnya dapat diketahui, dan pemanfaatannya masih jarang dilakukan hingga saat ini.<sup>6</sup>

Sampah plastik yang digunakan terdiri dari beberapa jenis, diantaranya sampah plastik kantong kresiek *High-Density Polyethylene* (HDPE), plastik bungkus makanan *Low-Density Polyethylene* (LDPE), dan *styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) yang dilakukan secara bersamaan dalam satu penelitian. Hal ini berbeda dengan penelitian sebelumnya dimana pada penelitian terdahulu sampel yang digunakan hanya dengan dua jenis sampel sampah plastik dalam satu penelitian.

Berdasarkan uraian permasalahan dan justifikasi diatas, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian tentang Kemampuan Ulat Jerman (*Zophobas morio*) Dalam Penurunan Berat Sampah Plastik.

## B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah apakah Ulat Jerman (*Zophobas morio*) mampu dalam menurunkan berat sampah plastik?

### **C. Tujuan**

#### **1. Tujuan Umum**

Untuk mengetahui kemampuan Ulat Jerman (*Zophobas morio*) dalam menurunkan berat sampah plastik.

#### **2. Tujuan Khusus**

- a. Diketahuinya persentase penurunan berat sampah plastik kantong kresek *High-Density Polyethylene* (HDPE) setelah penggunaan Ulat Jerman.
- b. Diketahuinya persentase penurunan berat sampah plastik bungkus makanan *Low-Density Polyethylene* (LDPE) setelah penggunaan Ulat Jerman.
- c. Diketahuinya persentase penurunan berat sampah *styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) setelah penggunaan Ulat Jerman.

### **D. Manfaat Penelitian**

#### **1. Bagi Peneliti**

Menjadi pembelajaran dalam penyusunan karya ilmiah yang sistematis dan berpegang teguh pada prinsip etika penilitian yang berasaskan kebermanfaatan pada masyarakat, serta menambah pengalaman peniliti dalam melakukan penelitian ilmiah.

#### **2. Bagi Institusi**

Menjadi referensi tambahan dalam melakukan penelitian baik bagi kampus maupun jurusan kesehatan lingkungan, terutama pada bidang pengolahan sampah plastik yang menggunakan metode biodegradasi.

#### **3. Bagi Masyarakat**

Menjadi alternatif dan solusi baru bagi masyarakat dalam pengolahan sampah plastik, serta dapat menjadi peluang ekonomi yang baik bagi masyarakat sehingga memungkinkannya terjadi ekonomi

sirkuler. Implementasinya dapat dilakukan dengan pembudidayaan Ulat Jerman yang memakan plastik pada umur tertentu dan dapat dijual kembali sebagai pakan ternak dengan nilai ekonomi yang tinggi.

#### **E. Ruang Lingkup**

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah penggunaan Ulat Jerman (*Zophobas morio*) berupa larva dengan sampah plastik kantong kresek *High-Density Polyethylene* (HDPE), plastik bungkus makanan *Low-Density Polyethylene* (LDPE), dan *styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS).

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Sampah Plastik**

Sampah plastik telah menjadi masalah universal, karena sebagian besar sampah plastik sulit terurai secara alami. Secara khusus, sebagian besar negara berkembang tidak memiliki fasilitas teknologi canggih dan tidak memiliki aturan dan regulasi yang memadai tentang produksi, penggunaan, dan pengelolaan sampah plastik. Karena plastik mencemari ekosistem darat dan laut, Perserikatan Bangsa-Bangsa menambahkan pernyataan, “Plastik adalah salah satu ancaman lingkungan besar yang dihadapi dunia”. Timbulan sampah plastik di dunia meningkat secara bertahap karena tiga alasan utama: (i) kemampuan plastik untuk menggantikan barang-barang tradisional seperti keramik, kayu, dan kaca, (ii) pertumbuhan populasi (misalnya, populasi dunia meningkat tajam dari 2,5 miliar menjadi 7,7 miliar dari tahun 1950 hingga 2019), dan (iii) mudahnya akses untuk mendapatkan plastik bagi masyarakat.<sup>4</sup>

Siklus hidup plastik yang pendek (yaitu, bahan sekali pakai) meningkatkan akumulasi plastik di lingkungan. Sekitar dua pertiga plastik global memiliki siklus hidup pendek yaitu kurang dari sebulan. Estimasi produksi sampah plastik global adalah sekitar 6,30 miliar ton dari tahun 1950 hingga 2015 dan sekitar 80% plastik terakumulasi di lingkungan. Sampah plastik di lingkungan secara umum meliputi polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinil klorida (PVC), polietilen tereftalat (PET), dan poliuretan (PUR). Polimer ini adalah diklasifikasikan menjadi plastik yang dapat dihidrolisis (PUR dan PET) dan plastik yang tidak dapat dihidrolisis (PE, PP, PS dan PVC). Plastik yang tidak dapat dihidrolisis lebih tahan terhadap depolimerisasi atau degradasi enzimatik.<sup>5</sup>

Depolimerisasi didefinisikan sebagai proses konversi polimer menjadi monomer atau campuran monomer dan baru-baru ini juga digambarkan sebagai proses penguraian polimer menjadi fragmen atau senyawa dengan molekul yang lebih kecil. Polimer yang dapat dihidrolisis (misalnya PET, PUR) dapat dihidrolisis melalui enzim (hidrolase, cutinase, lipase, dll.)

menjadi monomer atau campuran monomer yang kemudian terurai lebih lanjut; tetapi polimer yang tidak dapat dihidrolisis (PS, PE, dll.) jauh lebih tahan terhadap hidrolisis dan memerlukan hidrolisis pembelahan oksidatif ikatan *backbone* C-C melalui enzim dengan potensi redoks tinggi.<sup>5</sup>

Dijelaskan bahwa beberapa plastik yang banyak digunakan, seperti polietilen (PE), polistiren (PS), polietilen tereftalat (PET), dan polivinil klorida (PVC), terbukti merusak ekosistem karena memiliki kemampuan untuk menimbulkan permasalahan lingkungan dalam jangka panjang, sehingga menimbulkan bahaya yang terus-menerus dalam berbagai lini kehidupan, khususnya yang menghuni ekosistem perairan dan darat. Hal ini juga berdampak pada biomassa komunitas tanah dan keseimbangan ekologi. Plastik yang dibakar akan mengeluarkan emisi gas rumah kaca yang berbahaya bagi kesehatan manusia.<sup>6</sup>

Sejumlah sampah berbasis plastik bersifat hidrofobik, sehingga meningkatkan kemampuannya untuk beragregasi dengan jenis polutan lain seperti PAH, polutan organik, dan bifenil poliklorinasi. Selain itu, keberadaan sampah plastik di dalam tanah juga mengubah komposisi dan fungsi mikrobioma oleh plastik yang terfragmentasi menjadi puing-puing larut ke dalam tanah, meningkatkan kadar racun. Ketika burung menelan tekstil plastik, hal ini menyebabkan masalah neurologis, infertilitas, dan kelainan sistem kekebalan tubuh.<sup>6</sup>

Tingkat degradasi plastik berkisar antara 100 hingga 1000 tahun. Akibatnya, plastik pertama yang dibuat mungkin masih ada di alam. Plastik-plastik tersebut terdapat di alam dalam berbagai ukuran partikel dan dikenal sebagai plastik makro (>25 mm), meso (5 – 25 mm), mikro besar (1 – 5 mm), mikro kecil (20  $\mu$ m – 1 mm), dan nano (1 – 1000 nm). Karena plastik sebagian besar diproduksi, digunakan, dan dibuang di daratan, maka sebagian besar sampah terakumulasi di daratan.<sup>4</sup>

Degradasi alami plastik di lingkungan memiliki keterbatasan karena stabilitas dan ketahanannya yang tinggi. Degradasi plastik bergantung pada faktor lingkungan seperti sinar matahari, panas, aktivitas kimia/biologis, dan

karakteristik fisik seperti ukuran polimer, kepadatan, dan berat molekul. Pelapukan dan degradasi plastik terbagi dalam empat kategori: degradasi fisik/mekanis, fotodegradasi/degradasi foto-oksidatif, degradasi kimia dan termal, dan degradasi biologis.<sup>4</sup>

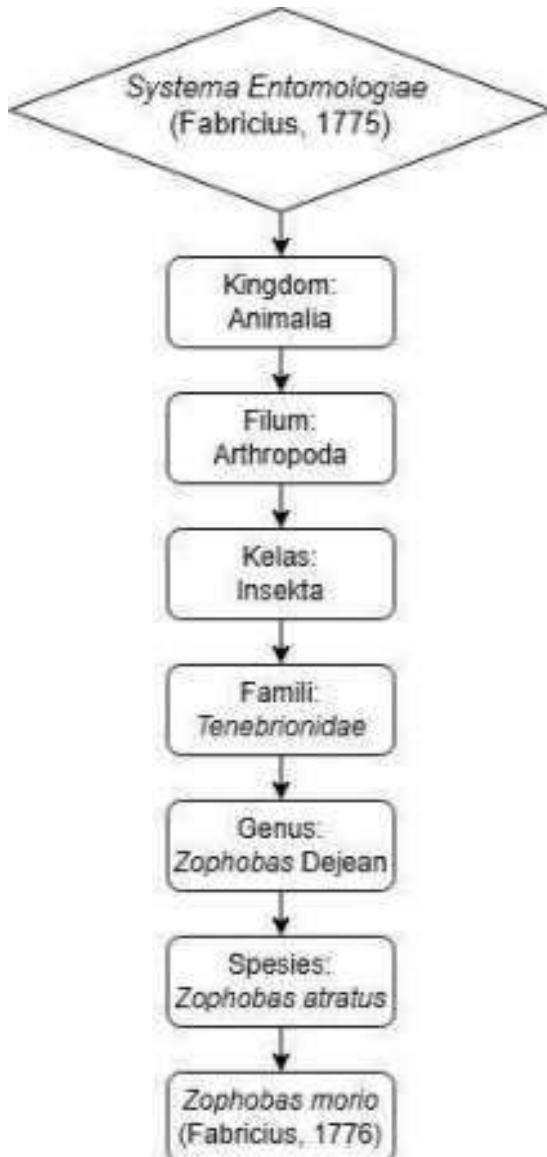
Mayoritas plastik memiliki tingkat stabilitas dan ketahanan yang tinggi terhadap berbagai faktor lingkungan, seperti pengaruh fotokimia atau mikrobiologi. Karakteristik ini telah menghadirkan tantangan besar bagi masyarakat dalam hal akumulasi dan pengelolaan sampah global. Memang, degradasi total plastik adalah proses yang berlangsung selama beberapa dekade atau abad (200–400 tahun), yang menyebabkan akumulasi sampah plastik secara bertahap dalam ekosistem tertentu.<sup>6</sup>

Proses insinerasi dapat menimbulkan dampak buruk akibat emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) terhadap lingkungan. Ketika plastik dibakar, ia mengeluarkan gas rumah kaca berbahaya bagi kesehatan manusia. Proses-proses ini melepaskan gas rumah kaca (GRK), CO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, dan berbagai jenis gas berbahaya lainnya ke lingkungan sekitar. Suhu yang tinggi pada polimer plastik selama proses pembakaran dapat melepaskan senyawa beracun ke lingkungan dan menjadi penyebab berbagai penyakit, termasuk penyakit paru-paru dan kanker, melalui inhalasi.<sup>6</sup>

Selain itu, di negara-negara kecil dan berkembang, tidak adanya tempat pembuangan sampah yang sesuai atau ruang yang memadai biasanya memanfaatkan metode insinerasi, pembuangan terbuka, atau pembakaran terbuka untuk meminimalisir volume dan massa plastik. Meskipun demikian, pembuangan terbuka rentan terhadap masalah bau dan penularan penyakit. Tindakan membuang sampah di darat mengakibatkan kurangnya kesuburan tanah dan pencemaran air tanah. Begitu pula ketika sampah dibuang ke laut, sangat mengganggu kehidupan laut karena adanya plastik yang mengapung bertahan untuk waktu yang lama, mungkin berlangsung ratusan tahun lamanya.<sup>6</sup>

## B. Ulat Jerman (*Zophobas morio*)

### 1. Taksonomi Ulat Jerman



Gambar 2. 1 Taksonomi Ulat Jerman (Fursov, 2018)

*Zophobas morio* termasuk dalam keluarga kumbang besar *Tenebrionidae*, yang kebanyakan berisi spesies serangga, seperti *T. molitor* dan *A. diaperinus*, tetapi juga ada Kumbang Beras, *Tribolium confusum* *Jacquelin du Val* (Coleoptera: *Tenebrionidae*), dan Kumbang Tepung Merah, *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: *Tenebrionidae*). *Zophobas morio* dapat ditemukan di daerah tropis

Amerika Tengah dan Selatan. Namun, saat ini juga sudah diperkenalkan ke wilayah lain di Eropa dan Asia.<sup>8</sup>

Dilaporkan bahwa masih belum jelas apakah spesies kumbang gelap lainnya yang memiliki kemampuan untuk mengunyah plastik juga memiliki kemampuan mendepolimerisasi /menguraikan plastik. Pengujian *superworm* (juga dikenal sebagai *King Worms* atau *Morio Worms*), yaitu larva *Zophobas atratus* Fabricius 1775 (Coleoptera: *Tenebrionidae*), untuk penelitiannya tentang biodegradasi plastik. *Zophobas atratus*, juga dikenal sebagai *Zophobas morio* Fabricius 1776 dan *Zophobas rugipes* Kirsch, adalah larva asli asal Amerika Selatan.<sup>5</sup>

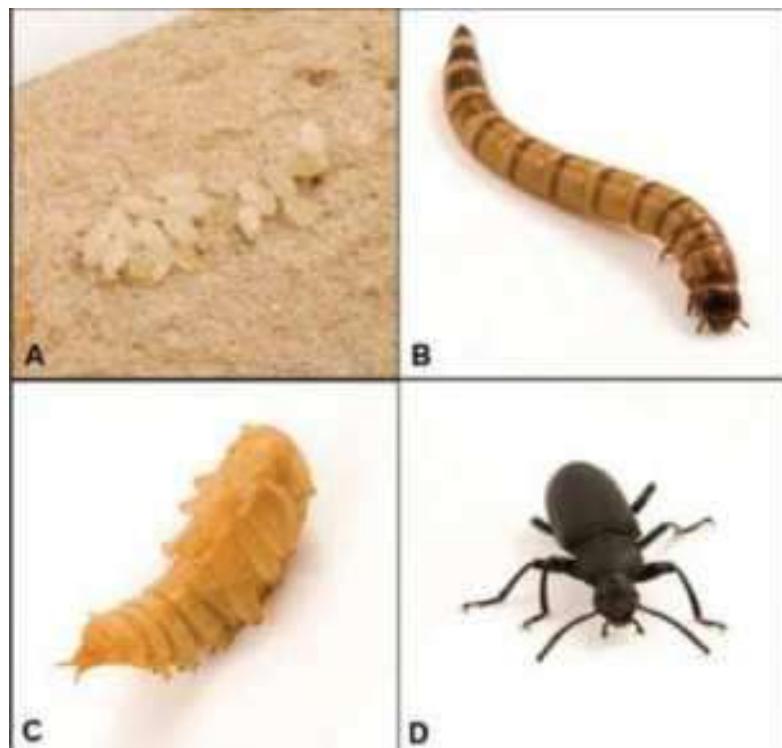
Larva *Z. atratus* dijual secara komersial dipasarkan sebagai sumber pakan yang terkenal untuk hewan di seluruh dunia. Larva *Z. atratus* mempunyai nilai gizi lebih tinggi, vitalitas yang lebih kuat dan lebih tahan terhadap rasa lapar dan haus dibandingkan *T. molitor* dan *T. obscurus* tetapi sebaliknya, mereka menunjukkan tahap kehidupan yang serupa larva menjadi pupa hingga dewasa.<sup>5</sup>

Namun, larva *Z. atratus* cenderung memakan pupa dan larva spesies mereka sendiri (kanibal). Larva ini mempunyai 6 kaki kecil, dua kaki belakang yang belum sempurna, 13 simpul dengan cincin kuning kecokelatan di sambungannya, dan bintik hitam di bagiannya kepala cacing serta garis-garis gelap di ujung ekor larva. Larva *Z. atratus* berukuran 1,5 hingga 3 kali lebih besar dibandingkan larva *T. molitor* dan *T. obscurus*, dan dapat tumbuh hingga panjang 5,0-6,0 cm.<sup>5</sup>

## 2. Siklus Kehidupan Ulat Jerman

Serangga umumnya dibagi menjadi dua kelompok, menurut strategi siklus hidupnya. Kelompok spesies holometabola yang lebih melimpah mengalami metamorfosis sempurna yang meliputi empat tahap kehidupan (telur, larva, pupa, dan imago). Spesies hemimetabola tidak memiliki tahap kepompong. Oleh karena itu, untuk mengetahui pengaruh tahap perkembangan terhadap zat gizi, spesies percobaan dari masing-

masing kelompok dipilih: kumbang gelap holometabola (*Zophobas morio* Fabricius, 1776), yang bentuk larvanya dikenal sebagai “superworm”.



Gambar 2.2 Telur (A), Larva (B), Pupa (C), dan Imago (D) dari Ulat Jerman  
(Rumbos, 2021)

a. Telur

Telur *Z. morio* berbentuk lonjong dengan tepi membulat, berwarna putih yang panjangnya 1,7 mm dan lebarnya 0,7 mm, dan akan menetas setelah 7-14 hari. Setiap betina dapat bertelur dalam jumlah besar (hingga 2.200) selama hidupnya, dan jumlah telur berkorelasi negatif dengan usia induk betina dan berkorelasi positif dengan kepadatan usia dewasa.<sup>9</sup>

b. Larva

Larva berwarna kuning dengan bagian anterior dan posterior berwarna coklat tua. Mereka memiliki silinder, kerangka luar yang sangat sklerotisasi, menyempit berbentuk kerucut dari dasarnya dari segmen perut ketujuh hingga kesembilan. Panjangnya bisa mencapai 55 mm. Ulat Jerman menetas setelah 8 hari pada suhu 25°C. Setelah

itu, Ulat Jerman akan berada pada tahap larva selama 3-6 bulan. Jumlah dan durasi ganti kulit larva bergantung pada kepadatan, yaitu bervariasi tergantung pada keberadaan larva dipelihara dalam kondisi terisolasi atau berkelompok.<sup>10</sup>

Misalnya, larva yang baru menetas akan lebih lama berada pada tahap larva jika dalam kondisi di kelompokan di waktu perkembangan mereka dibandingkan dengan larva ganti kulit diawal. Jika dibiarkan terisolasi, larva menjadi kepompong setelah 11-18 ganti kulit, sedangkan persentase kepompong terbesar terjadi setelah 16 atau 17 kali ganti kulit. Salah satu ciri yang paling menarik dari spesies ini adalah larvanya gagal menjadi kepompong dalam kondisi padat, meskipun pergantian kulit larva terus terjadi hingga mati.<sup>9</sup>

#### c. Pupa

Kepompong sebagian besar diam saat distimulasi, mereka memiliki kemampuan untuk memutar segmen perutnya dalam gerakan melingkar atau menunjukkan respons fisik lainnya. Semua reaksi ini dipertimbangkan menjadi mekanisme pertahanan pupa yang efektif terhadap serangan predator dan perilaku kanibal larva dan dipicu oleh rangsangan berbagai jenis sensilla mekanoreseptif pada permukaan tubuh pupa.<sup>11</sup>

Durasi tahap kepompong adalah 13–15 hari pada suhu 25°C, tergantung pada berat kepompong (kepompong dewasa mulai muncul lebih cepat dari pupa kecil) dan suhu (eklosi dewasa lebih cepat pada 29°C). Individu dapat dengan mudah ditentukan jenis kelaminnya pada tahap kehidupan ini dengan memperhatikan dua pigopoda menonjol yang berbeda di perut kesembilan segmen pupa betina yang dekat dengan *urogomphus*, namun tidak terdapat pada pupa jantan.<sup>9</sup>

#### d. Imago

Imago berukuran (panjang tubuh 38 hingga 57 mm) dengan tubuh memanjang dan antena *filiform*. Permukaan *elytra* diselingi

dengan sembilan baris tusukan bantalan bulu. Ulat Jerman dewasa dapat hidup hingga 6 bulan.<sup>9</sup>

### 3. Biodegradasi dan Mikroorganisme Dalam Usus Ulat Jerman

Biodegradasi adalah metode pengolahan sampah dengan memanfaatkan mikroba sebagai pengurai sampah. Paradigma biodegradasi didasarkan pada konsep peran mikroorganisme sebagai pendegradasi di lingkungan. Akibatnya, biodegradasi plastik yang terjadi di lingkungan adalah plastik diremediasi oleh mikroba di lingkungan, biasanya dibagi menjadi empat tahapan: biodeteriorasi, biofragmentasi, penyerapan mikrobiologis, dan biomineralisasi. Menurut pengertian ini, enzim mikroba awalnya dilepaskan ke lingkungan dan dapat berinteraksi langsung dengannya permukaan plastik, menyebabkan terjadinya biodegradasi.<sup>6</sup>

Pada penilitian Peng tahun 2020 menemukan bahwa larva *Zophobas morio* mampu untuk memakan busa *Polystyrene* (PS) dan *Low-Density Polyethylene* (LDPE) yang sepenuhnya bergantung pada mikroba usus. Pada penilitian Tay tahun 2023 menemukan bahwa larva *Zophobas atratus* mampu menguraikan *Expanded* (EPS) dan *Extruded Polystyrene* (XPS) dengan mikroba *Kluyvera sp.*, *Klebsiella sp.*, dan *Enterobacter sp* yang diduga kuat berperan dalam proses degradasi.<sup>12</sup>

Pada penilitian Peng tahun 2022 yang menggunakan 100 larva, menemukan larva *Zophobas atratus* mampu memakan *Polystyrene* (PS) dan *Low-Density Polyethylene* (LDPE) sebesar  $58,7 \pm 1,8$  mg dan  $61,5 \pm 1,6$  mg per hari selama 33 hari. Dalam penelitian Maulana pada tahun 2023 menemukan bahwa larva Ulat Jerman sebanyak 100 larva mampu mengonsumsi 81% - 82% sampah masker medis dari total berat sampel 60 gram selama 30 hari. Dalam penelitian Jiang pada tahun 2021 menemukan bahwa 200 larva *Zophobas morio* mampu mengonsumsi sampah *Polystyrene* (PS) sebesar 7,95 g dalam 30 hari.<sup>13</sup>

Ditemukan bahwa kemampuan larva kumbang untuk mengunyah benda plastik (misalnya Ulat Kuning *Tenebrio molitor*, Cacing Super *Zophobas morio*, Ngengat Lilin Besar *Galleria mellonella*, Kumbang Tepung Merah *Tribolium castaneum*, Penggerek Biji-Bijian Kecil *Rhyzopertha dominika* telah diteliti beberapa kali. Kemampuan ini dikaitkan dengan kepemilikan rahang yang tajam dan kemampuan untuk mencerna plastik tertentu, yaitu secara kimia mirip dengan polimer alami. Pada penelitian Urbanek tahun 2024 menemukan bahwa larva *Z. morio* dapat memakan dan mendegradasi beberapa jenis senyawa plastik lebih efektif dibandingkan *T. molitor*.<sup>14</sup>

Serangga plastivora mencapai remediasi biologis melalui pencernaan oleh mikroba alami dan enzim yang ada di usus serangga. Biodegradasi plastik terjadi dalam tiga fase berturut-turut termasuk biodeteriorasi, biofragmentasi dan asimilasi yang pada akhirnya akan mengakibatkan kehancuran total plastik. Selama biodeteriorasi, berbagai jenis plastik mulai rusak ketika terkena faktor lingkungan seperti suhu tinggi, radiasi sinar matahari dan pH air, sebelum dikonsumsi oleh serangga.<sup>6</sup>

Namun, efisiensi degradasi bergantung pada periode pemaparan serta intensitas paparan plastik terhadap faktor-faktor yang disebutkan di atas. Misalnya saja plastik yang dibuang ke tanah/daerah dengan suhu tinggi (paparan panas) akan rusak menjadi mikroplastik lebih cepat dibandingkan dengan suhu rendah. Tahap biofragmentasi terjadi selama pencernaan yang dilakukan oleh mikroba yang ada di dalam usus serangga. Mikroba, khususnya berbagai bakteri, melepaskan enzim seperti lipase, proteinase k, pronase dan dehidrogenase yang mampu menguraikan rantai polimer menjadi oligomer dan monomer melalui depolimerisasi dan proses pembelahan hidrolitik.<sup>6</sup>

Lalu terakhir selama tahap asimilasi, monomer plastik kemudian diubah menjadi biomassa yang dilakukan oleh mikroba dan enzim melalui oksidasi dan biominalisasi sehingga air, karbon dioksida dan metana

dilepaskan sebagai produk sampingan. Akhirnya, biomassa beserta produk sampingannya kemudian akan dikeluarkan sebagai kotoran yang dihasilkan oleh serangga tersebut. Meskipun proses biodegradasi dilakukan oleh berbagai larva serangga dilaporkan lambat dibandingkan dengan metode lain (fisik dan kimia), metode remediasi plastik ini dikenal ramah lingkungan, murah, aplikatif, dan efektif.<sup>6</sup>

Serangga berpotensi menjadi solusi yang layak untuk biodegradasi plastik, sebuah fenomena yang biasa disebut entomoremediasi. Serangga menghadirkan jalur yang menjanjikan untuk eksplorasi lebih lanjut bidang instrumen bioteknologi yang bertujuan untuk meningkatkan proses biodegradasi plastik. Pemanfaatan larva serangga untuk degradasi plastik memberikan solusi yang menjanjikan, mengingat keberadaan banyak spesies mampu mengonsumsi plastik dan mengubahnya menjadi zat tidak berbahaya.<sup>6</sup>

Penguraian plastik oleh serangga dapat dikategorikan menjadi lima tahap yang berbeda. Pertama, plastik dikunyah secara mekanis oleh mulut serangga dan kemudian memasuki saluran ususnya. Kedua, dalam usus serangga terdapat berbagai mikroba, yang kemudian berperan mengikis bahan plastik. Ketiga, melalui kegiatan enzim, plastik mengalami depolimerisasi sehingga terbentuk oligomer pecahan. Proses depolimerisasi ini dapat terjadi melalui oksidasi atau hidrolisis. Fragmen oligomer ini terdegradasi lebih lanjut menjadi molekul yang lebih kecil.<sup>6</sup>

Keempat, tubuh serangga menyerapnya dalam jumlah kecil molekul, memanfaatkannya sebagai sumber energi. Terakhir, serangga mengeluarkan produk akhir dari tubuhnya. Meskipun konsep degradasi plastik oleh serangga sudah banyak diketahui oleh berbagai peneliti, dan penyebab pasti terjadinya degradasi masih belum sepenuhnya diketahui, dan pemanfaatannya masih jarang ditemukan hingga saat ini.<sup>6</sup>

Ketika makanan berbahan plastik memasuki usus serangga, bakteri dan jamur memulai aktivitas enzim bersama dengan proses metabolisme lainnya seperti oksidasi dan depolimerisasi. Hasilnya adalah polimer

plastik akan terdegradasi secara perlahan menjadi potongan-potongan kecil (monomer) yang pada akhirnya akan diubah menjadi biomassa, air, dan karbon dioksida (reaksi biotik) yang akan dikeluarkan oleh larva serangga sebagai kotoran. biomassa serangga dapat diakumulasikan dan diubah menjadi bahan bakar berbasis alam (*biofuel*) dianggap sebagai sumber energi terbarukan yang penting. Satu hal yang penting manfaat dari pendekatan ini adalah kemampuannya untuk menguraikan sampah plastik secara sempurna.<sup>6</sup>

Dilaporkan bahwa kegiatan mendegradasi sampah plastik sintetis dilakukan oleh kontribusi sinergis mikrobiota usus (khususnya konsorsium mikroba usus) dan enzim pencernaan. Mikrobiota usus serangga memiliki berbagai fungsi, termasuk pencernaan dan penyediaan nutrisi penting, detoksifikasi senyawa beracun, kekebalan, ketahanan terhadap patogen, dan kesehatan organisme inang secara keseluruhan. Baru-baru ini, di sana ada laporan bahwa plastik mungkin sebagian dapat terurai secara hayati dan sebagian lainnya organisme hidup dapat memakannya, dan mikroorganisme yang terkandung dalam usus mereka dapat menguraikan polimer dan menyebabkan terjadinya biodegradasi.<sup>14</sup>

Suhu yang lebih dingin meningkatkan aktivitas metabolisme larva, sehingga memudahkan efisiensi enzimatik yang lebih besar dalam memecah polimer plastik. Selain itu, larva tetap terjaga kesehatannya selama penelitian, yang menunjukkan bahwa suhu laboratorium 21-23°C menjadi lingkungan yang ideal untuk aktivitas biodegradasi yang berkelanjutan. Paparan yang lebih lama pada suhu yang lebih tinggi tidak memberikan keuntungan yang signifikan, kemungkinan karena kinerja metabolisme larva yang menurun dalam kondisi ini. Hasil ini menegaskan kembali peran penting suhu dalam memengaruhi efisiensi biodegradasi plastik dan menyoroti perlunya mengoptimalkan kondisi lingkungan untuk memaksimalkan kinerja larva.<sup>15</sup>

Hal ini sejalan dengan penlitian Penzes pada tahun 2024 tentang “Penemuan parvovirus patogen yang menyebabkan kematian epidemik

akibat *black wasting disease* pada kumbang ternak berdasarkan *Cryo-EM* yang menemukan bahwa sebelum kematianya, larva Ulat Jerman menunjukkan gejala yang sama dengan infeksi alami, yaitu: pergerakan yang terbatas, kehilangan koordinasi dalam menggeliat, menghitam, akhirnya akan mencair dan mati.<sup>16</sup>

Sebelum mati, larva memang tidak menunjukkan perubahan morfologi, tetapi setelah mati, bangkai akan menghitam dengan cepat, terkontaminasi lebih intens, dan isi bagian dalamnya mencair sebagian. Penyakit ini dikenal dengan nama *Zophobas morio Black Wasting Disease* (ZmBWD). ZmBWD dapat menyebar melalui jalur mulut dan feses. Usus tengah telah terbukti berperan penting dalam infeksi *Densovirus* (DV).<sup>17</sup>

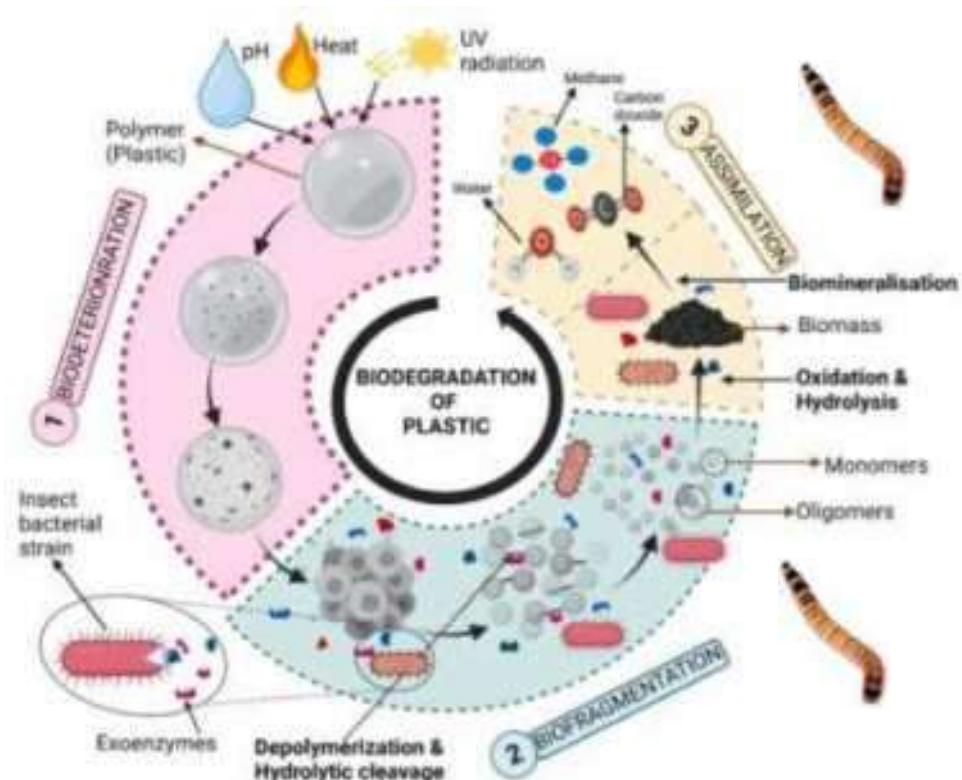
Penelitian Zielinska pada tahun 2021 menemukan sitotoksitas ekstrak pada lini sel kanker payudara manusia MCF-7. Kelompok yang sama menemukan bahwa ekstrak etanol *Z. morio* memiliki IC50 yang lebih tinggi daripada isopropanol pada lini sel MCF-7, masing-masing 1,7 mg/ml dan 0,7 mg/ml. Konsentrasi ekstrak larva yang diteliti distandarisasi untuk protein (1–100  $\mu$ g/mL protein dalam ekstrak), penggantian makanan larva tradisional dengan busa polistirena tidak meningkatkan sifat sitotoksik. Yang menarik adalah ekstrak dari serangga yang diberi makan polistirena berbusa menunjukkan sitotoksitas yang lebih rendah dibandingkan dengan serangga yang diberi makan diet kontrol.<sup>18</sup>

Kriteria Ulat Jerman yang akan dipilih hanya Ulat Jerman yang berumur 2 bulan dan individu menunjukkan aktivitas yang tinggi atau sedang yang hanya akan dipilih, tidak termasuk individu yang tidak bergerak. Secara umum tingkat kelangsungan hidup lebih rendah didapatkan pada larva kelompok *T. molitor* ( $67.97 \pm 2.92\%$ ) jika dibandingkan dengan larva *Z. morio* ( $78.33 \pm 5.67\%$ ). Ulat Jerman memiliki tingkat kelangsungan hidup yang lebih tinggi dibandingkan Ulat Hongkong, mungkin karena vitalitasnya yang lebih tinggi dan ketahanannya terhadap rasa lapar dan haus.<sup>19</sup>

Larva yang mati, ganti kulit, yang berubah menjadi kepompong, serta feses dan pecahan kecil plastik (terutama dalam kasus polistiren) dikeluarkan selama pemeriksaan kontainer. Sumber daya dari Ngengat Lilin Besar *Galleria mellonella* sulit untuk ditemukan. Sedangkan untuk Kumbang Tepung Merah *Tribolium castaneum* dan Penggerek Biji-Bijian Kecil *Rhyzopertha dominika* di khawatirkan akan menjadi hama jika kabur dari kandangnya.

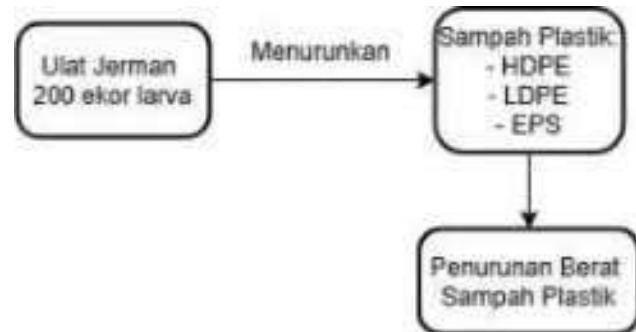
Dilaporkan bahwa bakteri pengurai PS dapat ditemukan di berbagai media lingkungan seperti air, tanah, dan usus serangga. Misalnya *Bacillus paralicheniformis* G1 ditemukan di Laut Arab, *Acinetobacter johnsonii* JNU01, *Pseudomonas lini* JNU01, dan *Exiguobacterium sp.* RIT 594 di tanah, *Gordonia sp.* dan *Novosphingobium sp.* di zona *epilittoral mangrove*, dan *Pseudomonas*, *Rhodococcus*, *Corynebacterium*, *erococcus*, *Enterobacteriaceae*, *Kluyvera*, *Citrobacter freundii*, dan *Lactococcus* sebagai berbagai mikrobiomassa di usus spesies serangga holometabolik seperti Ulat Jerman (*Zophobas morio*). Semua mikroorganisme ini secara fisik dapat mendegradasi bubuk dan/atau PS memodifikasi PS secara kimia dengan menambahkan gugus hidroksil ke ikatan karbon PS, yang umumnya memulai dekomposisi PS.<sup>20</sup>

#### 4. Kerangka Teori



Gambar 2. 3 Biodegradasi Plastik Oleh Serangga (Alexander Martin, 1930)

### C. Alur Pikir



Gambar 2. 4 Alur Pikir

### D. Definisi Operasional

Tabel 2. 1 Definisi Operasional

Variabel	Definisi Operasional	Alat Ukur	Cara Ukur	Hasil Ukur	Skala Ukur
Berat Sampah Plastik Sebelum	Berat sampah plastik yang berupa HDPE, LDPE, dan EPS sebelum dimakan Ulat Jerman	Timbangan digital 0,1 g	Menimbang	-HDPE 10 g -LDPE 10 g -EPS 10 g	Rasio
Berat Sampah Plastik Setelah	Berat sampah plastik yang berupa HDPE, LDPE, dan EPS setelah dimakan Ulat Jerman	Timbangan digital 0,1 g	Menimbang	-HDPE ...g -LDPE ...g -EPS ...g	Rasio

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Jenis Penelitian**

Jenis penelitian yang dilakukan adalah eksperimental dengan desain eksperimen semu dengan melihat kemampuan penurunan berat sampah plastik kantong kresek *High-Density Polyethylene* (HDPE), plastik bungkus makanan *Low-Density Polyethylene* (LDPE), dan *styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) setelah perlakuan sampel memanfaatkan 200 larva Ulat Jerman (*Zophobas morio*).

#### **B. Waktu dan Tempat**

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Januari-Juni 2025 pada rumah yang dikondisikan untuk memungkinkan berjalannya penelitian.

#### **C. Bahan dan Alat**

1. Bahan
  - a. Ulat Jerman umur 2 bulan 600 larva.
  - b. Sampah plastik kantong kresek HDPE, sampah plastik bungkus makanan LDPE, sampah *styrofoam* EPS masing masing 10 g.
  - c. Kapur ajaib 1 kotak.
  - d. Dedak padi secukupnya.
2. Alat
  - a. *Litter box* yang berukuran (30 cm x 20 cm x 7 cm) 3 buah (catatan: *litter box* tidak dapat dimakan oleh Ulat Jerman dikarenakan *litter box* yang digunakan berjenis HDPE yang tebal dan kokoh)
  - b. Gunting 1 buah.
  - c. Pisau 1 buah.
  - d. Timbangan digital 0,1 g.
  - e. *Thermohygrometer*.

## D. Teknik Pengumpulan Data

Data primer diperoleh oleh peneliti melalui penelitian dan pengamatan secara langsung pada rumah yang dikondisikan untuk memungkinkan berjalannya penelitian.

## E. Prosedur Penelitian

1. Pembuatan media
  - a. Siapkan 3 *litter box*.
  - b. Masukan dedak padi secukupnya sehingga menutupi bagian dasar pada *litter box*. Dedak padi berfungsi sebagai media bagi Ulat Jerman agar tubuh larva tidak basah.
  - c. Media siap untuk digunakan
2. Perlakuan sampel
  - a. Letakan 3 *litter box* pada tempat yang berdekatan, tetapi tidak menempel satu sama lain.
  - b. Berikan kapur ajaib pada sekitar *litter box*.
  - c. Potong sampah plastik menjadi 10 g.
  - d. Masukan sampah plastik kantong kresek HDPE, sampah plastik bungkus makanan LDPE, sampah *styrofoam* EPS 10 g ke masing-masing *litter box* yang telah disediakan.
  - e. Masukan Ulat Jerman masing-masing 200 larva ke dalam 3 *litter box*.
  - f. Ukur penurunan berat sampah plastik yang terjadi dengan timbangan digital setiap 5 hari sekali. Untuk melihat presentase penurunan berat sampah setelah dimakan Ulat Jerman, dapat dilakukan dengan memasukan ke dalam rumus. Rumus yang dapat digunakan, yaitu:

$$\% \text{ penurunan} = \frac{\text{Berat sebelum} - \text{berat sesudah}}{\text{Berat sebelum}} \times 100\%$$

Keterangan:

- |               |                                  |
|---------------|----------------------------------|
| Berat sebelum | = Jumlah berat sebelum perlakuan |
| Berat sesudah | = Jumlah berat setelah perlakuan |

- g. Lakukan pengukuran suhu dan kelembapan setiap hari.
- h. Amati kondisi Ulat Jerman 1 kali sehari.
- i. Ulat yang mati, kotoran, maupun sisa ganti kulit dari Ulat Jerman dikeluarkan 1 kali sehari.
- j. Catat hasil yang didapatkan.
- k. Lakukan prosedur ini selama 30 hari.
- l. Lakukan prosedur yang sama pada wadah lainnya.<sup>21</sup>

## **F. Pengolahan Data**

Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah terlebih dahulu secara manual dengan cara *editing*, *coding*, *tabulating*, dan *cleaning*.

- 1. *Editing*, yaitu proses penyuntingan data dengan melihat kelengkapan dan validitas data yang didapatkan.
- 2. *Coding*, yaitu proses pemberian label atau kode numerik pada data kualitatif agar dapat dianalisis.
- 3. *Tabulating*, yaitu proses penyusunan data atau penggabungan data dalam bentuk daftar atau tabel agar dapat dijumlahkan, disusun dan ditata untuk disajikan dan dianalisis dengan mudah.
- 4. *Cleaning*, yaitu proses pengecekan kembali data untuk melihat kemungkinan adanya kesalahan kode, ketidaklengkapan data dan sebagainya, sehingga selanjutnya bisa dilakukan perbaikan atau koreksi.

## **G. Analisis data**

Pada penelitian yang berjudul “Kemampuan Ulat Jerman (*Zophobas morio*) Dalam Menurunkan Berat Sampah Plastik”, analisis data dilakukan dengan cara melihat persentase penurunan berat sampah menggunakan rumus dengan lima kali pengulangan untuk melihat penurunan berat sampah plastik dengan perlakuan 200 larva Ulat Jerman.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **A. Gambaran Umum Penelitian**

Serangga yang berperan dalam proses biodegradasi sampah plastik ini adalah Ulat Jerman (*Zophobas morio*). Proses biodegradasi dilakukan selama 30 hari dengan suhu berkisar antara 24,7°-27,2°C. *Zophobas morio* adalah serangga memiliki metamorfosis sempurna (holometabola) dimana hampir sebagian besar siklus hidup kumbang ini dihabiskan dengan menjadi larva. Ini menunjukkan bahwa *Zophobas morio* hidup sebagai pengurai sampah plastik dalam waktu yang lama. Ulat Jerman mampu menurunkan berat sampah plastik hingga >75% dari berat awal.<sup>13</sup>

Peneliti mendapatkan Ulat Jerman dengan membeli di Peternakan Ulat Jerman Pinseka Komplek Villa Mega B7 No.64, RT.002/RW.012, Kelurahan Mata Air, Kecamatan Padang Selatan, Kota Padang. Sedangkan, penelitian dilakukan di rumah yang dikondisikan memungkinkan berjalannya penelitian di Jorong Korong Tabik, Nagari kapau, Kecamatan Tilatang Kamang, Kabupaten Agam.

Ulat Jerman yang digunakan adalah Ulat Jerman yang berumur 2 bulan. Sedangkan sampah plastik yang digunakan terdiri dari 3 jenis, yaitu plastik kantong kresek HDPE, plastik bungkus makanan LDPE, dan *styrofoam* EPS. Sampah plastik kantong kresek HDPE dan plastik bungkus makanan LDPE didapatkan dari kantong plastik yang sudah rusak dan tidak dapat digunakan lagi sebagai kantong plastik. Sedangkan sampah plastik *styrofoam* EPS dibeli di toko terdekat. Hal ini dikarenakan pada berbagai penelitian sampel yang digunakan adalah sampah yang masih baru.

Jumlah Ulat Jerman yang digunakan dalam setiap sampel adalah 200 ekor larva dengan 5 kali pengulangan. Sampel ditimbang dengan berat sampah plastik yang digunakan terdiri dari 3 jenis, yaitu plastik kantong kresek HDPE, plastik bungkus makanan LDPE, dan *styrofoam* EPS masing-masing 10 g. Sampah dipotong kecil-kecil lalu ditimbang dengan menggunakan timbangan digital 0,1 g. Sampel dan larva dimasukkan pada wadah yang telah disediakan.

Penelitian dilakukan selama 30 hari dengan meneliti dan mencatat suhu, kelembapan, dan jumlah larva yang mati. Penimbangan penurunan berat sampah plastik dilakukan setiap 5 hari sekali. Hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut:

## B. Hasil Penelitian

### 1. Persentase Penurunan Berat Sampah Plastik Kantong Kresek *High-Density Polyethylene* (HDPE)

Berdasarkan hasil penelitian dan pencatatan selama 30 hari, didapatkan persentase penurunan berat sampah plastik kantong kresek *High-Density Polyethylene* (HDPE) setelah dimakan 200 Larva Ulat Jerman (*Zophobas morio*) yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 1 Persentase Penurunan Berat Sampah Plastik Kantong Kresek *High-Density Polyethylene* (HDPE) Oleh 200 Larva Ulat Jerman (*Zophobas morio*)

B eWadah Ke r	Berat Sampah Plastik (g)				Penurunan (%)
	Sebelum (Hari ke-0)	Sesudah (Hari ke-30)	Selisih (g)		
d 1	10	9,0	1,0		10,0
a 2	10	9,0	1,0		10,0
s 3	10	9,0	1,0		10,0
a 4	10	8,9	1,1		11,0
r 5	10	9,0	1,0		10,0
k Total	50	44,9	5,1		51,0
a Rata-Rata	10,0	8,98	1,02		10,2
n					

tabel 4.1 didapatkan bahwa rata-rata berat sampah plastik kantong kresek *High-Density Polyethylene* (HDPE) setelah dimakan 200 Larva Ulat Jerman (*Zophobas morio*) sebesar 8,98 g dengan persentase penurunan 10,2%.

2. Persentase Penurunan Berat Sampah Plastik Bungkus Makanan *Low-Density Polyethylene* (LDPE)

Berdasarkan hasil penelitian dan pencatatan selama 30 hari, didapatkan persentase penurunan berat sampah plastik bungkus makanan *Low-Density Polyethylene* (LDPE) setelah dimakan 200 Larva Ulat Jerman (*Zophobas morio*) yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 2 Persentase Penurunan Berat Sampah Plastik Bungkus Makanan *Low-Density Polyethylene* (LDPE) Oleh 200 Larva Ulat Jerman (*Zophobas morio*)

Wadah Ke	Berat Sampah Plastik (g)			
	Sebelum (Hari Ke-0)	Sesudah (Hari ke-30)	Selisih (g)	Penurunan (%)
1	10	8,9	1,1	11,0
2	10	8,7	1,3	13,0
3	10	8,8	1,2	12,0
4	10	8,8	1,2	12,0
5	10	8,9	1,1	11,0
Total	50	44,1	5,9	59,0
Rata-Rata	10,0	8,82	1,18	11,8

e

dasarkan tabel 4.2 didapatkan bahwa rata-rata berat sampah plastik bungkus makanan *Low-Density Polyethylene* (LDPE) setelah dimakan 200 Larva Ulat Jerman (*Zophobas morio*) sebesar 8,82 g dengan persentase penurunan 11,8%.

### 3. Persentase Penurunan Berat Sampah *Styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS)

Berdasarkan hasil penelitian dan pencatatan selama 30 hari, didapatkan persentase penurunan berat sampah *styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) setelah dimakan 200 Larva Ulat Jerman (*Zophobas morio*) yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 3 Persentase Penurunan Berat Sampah *Styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) Oleh 200 Larva Ulat Jerman (*Zophobas morio*)

eWadah Ke r	B (Hari ke-0)	Berat Sampah Plastik (g)			Penurunan (%)
		Sebelum (Hari ke-30)	Sesudah (Hari ke-30)	Selisih (g)	
d 1	10	3,3	6,7	67,0	
a 2	10	3,2	6,8	68,0	
s 3	10	3,4	6,6	66,0	
a 4	10	3,3	6,7	67,0	
r 5	10	3,5	6,5	65,0	
k Total	50	16,7	33,3	333,0	
a Rata-Rata	10,0	3,34	6,66	66,6	
n					

tabel 4.3 didapatkan bahwa rata-rata berat sampah *styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) setelah dimakan 200 Larva Ulat Jerman (*Zophobas morio*) sebesar 3,34 g dengan persentase penurunan 66,6%.

### C. Pembahasan

Dari penelitian yang berjudul “Kemampuan Ulat Jerman (*Zophobas morio*) Dalam Menurunkan Berat Sampah Plastik”, didapatkan hasil penelitian sebagai berikut:

1. Kemampuan Ulat Jerman Dalam Menurunkan Berat Sampah Plastik Kantong Kresek *High-Density Polyethylene* (HDPE)

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa Ulat Jerman mampu menguraikan sampah plastik dengan rata-rata 8,98 g dengan persentase penurunan 10,2% setelah 30 hari penelitian. Penurunan berat sampah plastik terjadi secara nyata pada hari ke 5 dan 10. Pada hari ke 15 dan 20 penurunan sampah plastik juga tidak mengalami perubahan yang begitu berarti. Namun pada hari ke 25 dan 30 penurunan sampah plastik mengalami perlambatan penurunan jika dibandingkan dengan 10 hari pertama dan kedua. Penurunan berat sampah plastik yang tertinggi tercatat mencapai 11% dari berat sampah plastik.

Penelitian Rosdi pada tahun 2025 menemukan bahwa Ulat Jerman mampu menurunkan berat sampah plastik HDPE sebesar 2,4 % selama 13 hari ( $\pm 5$  % selama 30 hari) dari berat sampah plastik awal. Sedangkan jika sampah plastik ditambah dengan sayur, maka hasil penurunan sampah plastik yang didapatkan sebesar 43,43 % selama 13 hari ( $\pm 100$  % selama 30 hari). Penelitian ini dilakukan di ruangan dengan suhu 21°-23°C dan 28°-30°C. Penelitian juga telah dilakukan pada organisme lain yang mampu memakan plastik yang menemukan bahwa organisme tersebut juga mampu menurunkan berat sampah plastik HDPE.<sup>15</sup>

Hasil penelitian ini menunjukan bahwa Larva Ulat Jerman memiliki tingkat konsumsi yang lebih tinggi pada tahap awal penelitian. Namun seiring dengan berjalannya penelitian, terlihat bahwa Larva Ulat Jerman mengalami perlambatan tingkat konsumsi. Hal ini membuktikan bahwa tingkat konsumsi di pengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, kelembapan, kematian Ulat Jerman, dan jenis sampah plastik.<sup>15</sup>

Suhu dan kelembapan ruangan penelitian yang dipantau dan dicatat berkisar antara 24,7-27,2°C. Sedangkan kelembapan ruangan penelitian berkisar antara 71-82% selama 30 hari penelitian. Biodegradasi optimal terjadi pada suhu antara 21°C dan 23°C, dimana pada suhu ini tercatat aktivitas metabolisme tertinggi terjadi. Sedangkan kelembapan idealnya adalah 60-70°C. Suhu dan kelembapan pada penelitian belum bisa mencapai suhu yang ideal, namun sudah mendekati. Hal ini juga yang menjadi faktor mengapa penurunan berat sampah plastik megalami perlambatan.<sup>15</sup>

Angka kemampuan bertahan hidup didapatkan dengan rata-rata 86,7% dari jumlah awal larva. Jumlah Ulat Jerman yang mampu hidup tidak begitu terlihat penurunan pada hari ke 5 dan 10. Pada hari ke 15 dan 20 penurunan jumlah Ulat Jerman juga tidak mengalami perubahan yang begitu berarti. Namun pada hari ke 25 dan 30 penurunan Ulat Jerman terjadi secara nyata jika dibandingkan dengan 10 hari pertama dan kedua. Larva Ulat Jerman yang akan mati menunjukkan gejala pergerakan larva mulai yang berkurang hingga akhirnya mati. Setelah itu, larva akan mulai menghitam dan mengeluarkan cairan dengan bau yang busuk. Kontak yang terjadi antara larva hidup dengan larva yang sudah mati akan menyebabkan penularan terjadi, karena larva yang sudah mati terinfeksi oleh virus. Inilah yang menyebabkan jumlah larva berkurang drastis di akhir penelitian.

Polietilena diproduksi dalam tiga bentuk utama: *Low Density Polyethylene* / LDPE (<0,930 g/cm<sup>3</sup>), *Linear Low Density Polyethylene* / LLDPE (0,915–0,940 g/cm<sup>3</sup>), dan *High Density Polyethylene* / HDPE (0,940–0,965 g/cm<sup>3</sup>). *High Density Polyethylene* (HDPE) memiliki rantai polimer linier dengan sedikit cabang, dan molekul-molekulnya dapat saling berdekatan, yang menghasilkan ikatan antar molekul yang kuat. Oleh karena itu, HDPE lebih padat, dan lebih kaku daripada *Low-Density Polyethylene* (LDPE). Inilah yang menyebabkan penurunan berat sampah plastik HDPE lebih lambat dibandingkan dengan LDPE. Hal ini

dikarenakan struktur kimia yang lebih kompleks dapat memperlambat proses depolimerisasi.<sup>22</sup>

Pada penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini penurunan sampah lebih terlihat dengan data 10,2 % jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang hanya mengalami penurunan  $\pm$  5 %. Hal ini dibuktikan dengan adanya selisih penurunan sekitar  $\pm$  5,2% antara penelitian ini dan penelitian terdahulu. Hal ini juga membuktikan bahwa penurunan berat sampah plastik yang ditambahkan sayur sebagai makanan tambahan akan meningkatkan efektifitas penurunan berat sampah plastik hingga 20 kali lebih baik.

## 2. Kemampuan Ulat Jerman Dalam Menurunkan Berat Sampah Plastik Bungkus Makanan *Low-Density Polyethylene* (LDPE)

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa Ulat Jerman mampu menguraikan sampah plastik dengan rata-rata 8,82 g dengan persentase penurunan 11,8% setelah 30 hari penelitian. Penurunan berat sampah plastik terjadi secara nyata pada hari ke 5 dan 10. Pada hari ke 15 dan 20 penurunan sampah plastik juga tidak mengalami perubahan yang begitu berarti. Namun pada hari ke 25 dan 30 penurunan sampah plastik mengalami perlambatan penurunan jika dibandingkan dengan 10 hari pertama dan kedua. Penurunan berat sampah plastik yang tertinggi tercatat mencapai 13% dari berat sampah plastik.

Berdasarkan penelitian Peng pada tahun 2022 yang menggunakan 100 larva, larva *Zophobas atratus* mampu memakan *Polystyrene* (PS) dan *Low-Density Polyethylene* (LDPE) sebesar  $58,7 \pm 1,8$  mg dan  $61,5 \pm 1,6$  mg per hari selama 33 hari.<sup>23</sup> Berdasarkan penelitian Peng pada tahun 2020 menemukan bahwa larva *Zophobas morio* mampu untuk memakan busa *Polystyrene* (PS) dan *Low-Density Polyethylene* (LDPE) yang sepenuhnya bergantung pada mikroba usus. Dalam waktu 33 hari, larva memakan busa

LDPE dan PS sebagai satu-satunya makanannya dengan tingkat konsumsi masing-masing  $43.3 \pm 1.5$  and  $52.9 \pm 3.1$  mg per 100 larva per hari.<sup>5</sup>

Hasil penelitian ini menunjukan bahwa Larva Ulat Jerman memiliki tingkat konsumsi yang lebih tinggi pada tahap awal penelitian. Namun seiring dengan berjalannya penelitian, terlihat bahwa Larva Ulat Jerman mengalami perlambatan tingkat konsumsi. Hal ini membuktikan bahwa tingkat konsumsi di pengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, kelembapan, kematian Ulat Jerman, dan jenis sampah plastik.<sup>15</sup>

Suhu dan kelembapan ruangan penelitian yang dipantau dan dicatat berkisar antara 24,7-27,2°C. Sedangkan kelembapan ruangan penelitian berkisar anatara 71-82% selama 30 hari penelitian. Biodegradasi optimal terjadi pada suhu antara 21°C dan 23°C, dimana pada suhu ini tercatat aktivitas metabolisme tertinggi tejadi. Sedangkan kelembapan idealnya adalah 60-70°C. Suhu dan kelembapan pada penelitian belum bisa mencapai suhu yang ideal, namun sudah mendekati. Hal ini juga yang menjadi faktor mengapa penurunan berat sampah plastik megalami perlambatan.<sup>15</sup>

Angka kemampuan bertahan hidup didapatkan dengan rata-rata 86,2% dari jumlah awal larva. Jumlah Ulat Jerman yang mampu hidup tidak begitu terlihat penurunan pada hari ke 5 dan 10. Pada hari ke 15 dan 20 penurunan jumlah Ulat Jerman juga tidak mengalami perubahan yang begitu berarti. Namun pada hari ke 25 dan 30 penurunan Ulat Jerman terjadi secara nyata jika dibandingkan dengan 10 hari pertama dan kedua. Larva Ulat Jerman yang akan mati menunjukan gejala pergerakan larva mulai yang berkurang hingga akhirnya mati. Setelah itu, larva akan mulai menghitam dan mengeluarkan cairan dengan bau yang busuk. Kontak yang terjadi antara larva hidup dengan larva yang sudah mati akan menyebabkan penularan terjadi, karena larva yang sudah mati terinfeksi oleh virus. Inilah yang menyebabkan jumlah larva berkurang drastis di akhir penelitian.

Polietilena diproduksi dalam tiga bentuk utama: *Low Density Polyethylene* / LDPE (<0,930 g/cm<sup>3</sup>), *Linear Low Density Polyethylene* / LLDPE (0,915–0,940 g/cm<sup>3</sup>), dan *High Density Polyethylene* / HDPE (0,940–0,965 g/cm<sup>3</sup>). *High-Density Polyethylene* (HDPE) memiliki rantai polimer linier dengan sedikit cabang, dan molekul-molekulnya dapat saling berdekatan, yang menghasilkan ikatan antar molekul yang kuat. Oleh karena itu, HDPE lebih padat, dan lebih kaku daripada *Low-Density Polyethylene* (LDPE). Inilah yang menyebabkan penurunan berat sampah plastik LDPE lebih cepat dibandingkan dengan HDPE. Hal ini dikarenakan struktur kimia yang lebih sederhana dapat mempercepat proses depolimerisasi.<sup>22</sup>

Pada penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini penurunan sampah lebih lambat dengan data 1,18 g jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang mengalami penurunan hingga  $\pm$  2,5 g. Hal ini dibuktikan dengan adanya selisih penurunan sekitar 1,32 g antara penelitian ini dan penelitian terdahulu.

### 3. Kemampuan Ulat Jerman Dalam Menurunkan Berat Sampah *Styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS)

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa Ulat Jerman mampu menguraikan berat sampah dengan rata-rata 3,34 g dengan persentase penurunan 66,6% setelah 30 hari penelitian. Penurunan berat sampah plastik terjadi dengan signifikan pada hari ke 5 dan 10. Pada hari ke 15 dan 20 penurunan sampah plastik juga tidak mengalami perubahan yang begitu berarti. Namun pada hari ke 25 dan 30 penurunan sampah plastik mengalami perlambatan jika dibandingkan dengan 10 hari pertama dan kedua. Penurunan berat sampah plastik yang tertinggi tercatat mencapai 68% dari berat sampah plastik.

Berdasarkan penelitian Jiang pada tahun 2021 menemukan bahwa 200 ekor Ulat Jerman mampu menurunkan berat sampah plastik

*Polystyrene* sebesar 7,95 g dalam waktu 30 hari. Penelitian ini juga membandingkan kemampuan antara organisme jenis yang mampu mengonsumsi sampah plastik lainnya. Didapatkan hasil bahwa Ulat Jerman paling efektif dalam menurunkan berat sampah plastik *Polystyrene*. Berdasarkan penelitian Peng pada tahun 2022 yang menggunakan 100 larva, larva *Zophobas atratus* mampu memakan *Polystyrene* (PS) dan *Low-Density Polyethylene* (LDPE) sebesar  $58,7 \pm 1,8$  mg dan  $61,5 \pm 1,6$  mg per hari selama 33 hari.<sup>23</sup>

Berdasarkan penilitian Peng pada tahun 2020 menemukan bahwa larva *Zophobas morio* mampu untuk memakan busa *Polystyrene* (PS) dan *Low-Density Polyethylene* (LDPE) yang sepenuhnya bergantung pada mikroba usus. Dalam waktu 33 hari, larva memakan busa LDPE dan PS sebagai satu-satunya makanannya dengan tingkat konsumsi masing-masing  $58,7 \pm 1,8$  mg dan  $61,5 \pm 1,6$  mg per 100 larva.<sup>5</sup>

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Larva Ulat Jerman memiliki tingkat konsumsi yang lebih tinggi pada tahap awal penelitian. Namun seiring dengan berjalannya penelitian, terlihat bahwa Larva Ulat Jerman mengalami perlambatan tingkat konsumsi. Hal ini membuktikan bahwa tingkat konsumsi di pengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, kelembapan, kematian Ulat Jerman, dan jenis sampah plastik.<sup>15</sup>

Suhu dan kelembapan ruangan penelitian yang dipantau dan dicatat berkisar antara 24,7-27,2°C. Sedangkan kelembapan ruangan penelitian berkisar anatara 71-82% selama 30 hari penelitian. Biodegradasi optimal terjadi pada suhu antara 21°C dan 23°C, dimana pada suhu ini tercatat aktivitas metabolisme tertinggi tejadi. Sedangkan kelembapan idealnya adalah 60-70°C. Suhu dan kelembapan pada penelitian belum bisa mencapai suhu yang ideal, namun sudah mendekati. Hal ini juga yang menjadi faktor mengapa penurunan berat sampah plastik megalami perlambatan.<sup>15</sup>

Angka kemampuan bertahan hidup didapatkan dengan rata-rata 83,2% dari jumlah awal larva. Jumlah Ulat Jerman yang mampu hidup

tidak begitu terlihat penurunan pada hari ke 5 dan 10. Pada hari ke 15 dan 20 penurunan jumlah Ulat Jerman juga tidak mengalami perubahan yang begitu berarti. Namun pada hari ke 25 dan 30 penurunan Ulat Jerman terjadi dengan signifikan jika dibandingkan dengan 10 hari pertama dan kedua. Larva Ulat Jerman yang akan mati menunjukkan gejala pergerakan larva mulai berkurang hingga akhirnya mati. Setelah itu, larva akan mulai menghitam dan mengeluarkan cairan dengan bau yang busuk. Kontak yang terjadi antara larva hidup dengan larva yang sudah mati akan menyebabkan penularan terjadi, karena larva yang sudah mati terinfeksi oleh virus. Inilah yang menyebabkan jumlah larva berkurang drastis di akhir penelitian.

Kepadatan *Polystyrene* (PS) memiliki Kepadatan  $1,1 \pm 0,19$  g/cm<sup>3</sup> dan kekuatan tarik  $3 \pm 1,13$  N/mm<sup>2</sup>. Jenis plastik ini juga mudah terikat oleh banyak pelarut organik (misalnya aseton) dan tingkat laju kerusakan paling cepat di udara, terutama saat terpapar langsung sinar matahari. Oleh karena itu walaupun memiliki kepadatan yang lebih tinggi dari sampah plastik HDPE dan LDPE, namun sampah plastik EPS mampu terurai lebih cepat.<sup>22</sup>

Suhu yang lebih dingin meningkatkan aktivitas metabolisme larva, sehingga memudahkan efisiensi enzimatik yang lebih besar dalam memecah polimer plastik. Selain itu, larva tetap terjaga kesehatannya selama penelitian, yang menunjukkan bahwa suhu laboratorium 21-23°C menjadi lingkungan yang ideal untuk aktivitas biodegradasi yang berkelanjutan. Paparan yang lebih lama pada suhu yang lebih tinggi tidak memberikan keuntungan yang signifikan, kemungkinan karena kinerja metabolisme larva yang menurun dalam kondisi ini. Hasil ini menegaskan kembali peran penting suhu dalam memengaruhi efisiensi biodegradasi plastik dan menyoroti perlunya mengoptimalkan kondisi lingkungan untuk memaksimalkan kinerja larva.<sup>15</sup>

Hal ini sejalan dengan penlitian Penzes pada tahun 2024 tentang “Penemuan parvovirus patogen yang menyebabkan kematian epidemik

akibat *black wasting disease* pada kumbang ternak berdasarkan *Cryo-EM* yang menemukan bahwa sebelum kematianya, larva Ulat Jerman menunjukkan gejala yang sama dengan infeksi alami, yaitu: pergerakan yang terbatas, kehilangan koordinasi dalam menggeliat, menghitam, akhirnya akan mencair dan mati.<sup>16</sup>

Sebelum mati, larva memang tidak menunjukkan perubahan morfologi, tetapi setelah mati, bangkai akan menghitam dengan cepat, terkontaminasi lebih intens, dan isi bagian dalamnya mencair sebagian. Penyakit ini dikenal dengan nama *Zophobas morio Black Wasting Disease* (ZmBWD). ZmBWD dapat menyebar melalui jalur mulut dan feses. Usus tengah telah terbukti berperan penting dalam infeksi *Densovirus* (DV).<sup>17</sup>

Penelitian Zielinska pada tahun 2021 menemukan sitotoksitas ekstrak pada lini sel kanker payudara manusia MCF-7. Kelompok yang sama menemukan bahwa ekstrak etanol *Z. morio* memiliki IC50 yang lebih tinggi daripada isopropanol pada lini sel MCF-7, masing-masing 1,7 mg/ml dan 0,7 mg/ml. Konsentrasi ekstrak larva yang diteliti distandarisasi untuk protein (1–100  $\mu$ g/mL protein dalam ekstrak), penggantian makanan larva tradisional dengan busa polistirena tidak meningkatkan sifat sitotoksik. Yang menarik adalah ekstrak dari serangga yang diberi makan polistirena berbusa menunjukkan sitotoksitas yang lebih rendah dibandingkan dengan serangga yang diberi makan diet kontrol.<sup>18</sup>

Pada penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini penurunan sampah lebih lambat dengan data 6,66 g jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang mengalami penurunan hingga 7,95 g. Hal ini dibuktikan dengan adanya selisih penurunan sekitar 1,29 g antara penelitian ini dan penelitian terdahulu.

Dapat disimpulkan bahwa penelitian yang dilakukan menjawab rumusan masalah yang diajukan. Dalam penelitian ini terbukti bahwa Ulat Jerman mampu menurunkan sampah plastik bungkus makanan *Styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) dengan paling efektif jika dibandingkan jenis

sampah HDPE dan LDPE. Pada penelitian selanjutnya, perlu diteliti lebih lanjut tentang bagaimana menekan angka kematian Ulat Jerman selama proses biodegradasi sampah plastik.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Rata-rata penurunan berat sampah plastik kantong kresek *High-Density Polyethylene* (HDPE) adalah 8,98 g dengan persentase penurunan (10,2 %) dari berat awal sampah plastik dengan persentase jumlah Ulat Jerman yang hidup sebesar 86,7%.
2. Rata-rata penurunan berat sampah plastik bungkus makanan *Low-Density Polyethylene* (LDPE) adalah 8,82 g dengan persentase penurunan 11,8 % dari berat awal sampah plastik dengan persentase jumlah Ulat Jerman yang hidup sebesar 86,2%.
3. Rata-rata penurunan berat sampah plastik *Styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) adalah 3,34 g dengan persentase penurunan 66,6 % dari berat awal sampah plastik dengan persentase jumlah Ulat Jerman yang hidup sebesar 83,2%.

#### **B. Saran**

1. Pada peneliti selanjutnya, agar dapat mengkaji bagaimana caranya menekan angka kematian Ulat Jerman yang mengonsumsi plastik.
2. Pada peneliti selanjutnya, agar dapat meneliti bagaimana cara mempercepat proses penguraian sampah plastik dengan memanfaatkan Ulat Jerman.
3. Pada peneliti selanjutnya, agar dapat menacari alternatif lain selain Ulat Jerman dalam proses biodegradasi sampah plastik.
4. Pada peneliti selanjutnya, agar mempelajari bagaimana dampak dari konsumsi Ulat Jerman yang telah mengonsumsi sampah plastik lebih mendalam.

## DAFTAR PUSTAKA

1. UN Environment Programme. Global Waste Management Outlook 2024. 2024;116.
2. Perpres Nomor 97 Tahun 2017. Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. 2017; Pasal 5.
3. Sumantri A. Kesehatan Lingkungan. Edisi Revisi. Depok: Prenada Media; 2017.
4. Nayanathara Thathsarani Pilapitiya PGC, Ratnayake AS. The world of plastic waste: A review. Clean Mater. 2024; 11:100220.
5. Peng BY, Li , Fan R, Chen Z, Chen J, Brandon M et al. Biodegradation of low-density polyethylene and polystyrene in superworms, larvae of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae): Broad and limited extent depolymerization. Environ Pollut. 2020; 266:115206.
6. Siddiqui SA, Manap ASA, Kolobe SD, Monnye M, Yudhistira B, Fernando, I. Insects for plastic biodegradation – A review. Process Saf Environ Prot. 2024; 186:833–849.
7. Athanasopoulos P, Zabaniotou A. Post-consumer textile thermochemical recycling to fuels and biocarbon: A critical review. Sci Total Environ. 2022; 834:155387.
8. Fursov VN, Cherney LS. *Zophobas atratus* (Fabricius, 1775) – new genus and species of darkling beetles (Coleoptera, Tenebrionidae) for the fauna of Ukraine. Ukr Entomol J. 2018; 14:10–24.
9. Rumbos CI, Athanassiou CG. The superworm, *zophobas morio* (Coleoptera:Tenebrionidae): A ‘sleeping giant’ in nutrient sources. J Insect Sci. 2021; 21.
10. Kim SY, Kim HG, Song SH, Kim NJ. Developmental characteristics of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae in different instars. Int J Ind Entomol. 2015; 30:45–49.
11. Ichikawa T, Kurauchi T. Larval cannibalism and pupal defense against cannibalism in two species of tenebrionid beetles. Zool Sci. 2009; 26: 525–529.
12. Tay JH, Asib N, Aziz NAA, Tan GH. Biodegradation of Expanded and Extruded Polystyrene with Different Diets by Using *Zophobas atratus* Larvae (Coleoptera: Tenebrionidae). Pertanika J Trop Agric Sci. 2023;46:459–483.
13. Jiang S, Su T, Zhao J, Wang Z. Biodegradation of polystyrene by tenebrio

- molitor, galleria mellonella, and zophobas atratus larvae and comparison of their degradation effects. *Polymers (Basel)*. 2021; 13.
14. Urbanek AK, Rybak J, Hanus-Lorenz B, Komisarczyk DA, Mirończuk AM. Zophobas morio versus Tenebrio molitor: Diversity in gut microbiota of larvae fed with polymers. *Sci Total Environ*. 2024; 952.
  15. Rosdi MAAM, Hashim NH, Fuzi FSZM. The Effect of Zophobas morio Superworms as the Agent towards Polystyrene Biodegradation to Reduce Plastic Waste Pollution. 2025; 6:54–64.
  16. Penzes JJ, Holm M., Yost SA, Kaelber JT. Cryo-EM-based discovery of a pathogenic parvovirus causing epidemic mortality by black wasting disease in farmed beetles. *Cell*. 2024; 187:5604–5619.
  17. Bertola M, Mutinelli F. A systematic review on viruses in mass-reared edible insect species. *Viruses*. 2021; 13:1–31.
  18. Zielińska E, Zieliński D, Jakubczyk A, Karaś M, Pankiewicz U, Flasz B et al. The impact of polystyrene consumption by edible insects Tenebrio molitor and Zophobas morio on their nutritional value, cytotoxicity, and oxidative stress parameters. *Food Chem*. 2021; 345.
  19. Wang J, Wang Y, Li X, Weng Y, Wang Y, Han X et al. Different performances in polyethylene or polystyrene plastics long-term feeding and biodegradation by Zophobas atratus and Tenebrio molitor larvae, and core gut bacterial- and fungal-microbiome responses. *J Environ Chem Eng*. 2022; 10:108957.
  20. Ganesh Kumar A, Hinduja M, Sujitha K, Nivedha Rajan N, Dharani G. Biodegradation of polystyrene by deep-sea *Bacillus paralicheniformis* G1 and genome analysis. *Sci Total Environ*. 2021; 774:145002.
  21. Maulana A. Analisis Hasil Biodegradasi Sampah Masker Medis Berdasarkan Parameter Kimia Menggunakan Zophobas Morio [skripsi] Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia; 2023.
  22. Peng BY, Sun Y, Wu Z, Chen J, Shen Z, Zhou X et al. Biodegradation of polystyrene and low-density polyethylene by Zophobas atratus larvae: Fragmentation into microplastics, gut microbiota shift, and microbial functional enzymes. *J Clean Prod*. 2022; 367:132987.
  23. Peng BY, Sun Y, Wu Z, Chen J, Shen Z, Zhou X et al. Biodegradation of polystyrene and low-density polyethylene by Zophobas atratus larvae: Fragmentation into microplastics, gut microbiota shift, and microbial functional enzymes. *J Clean Prod*. 2022; 367:132987.

## DAFTAR LAMPIRAN

### Lampiran 1. Tabel

Tabel 4.1. 1 Penurunan Berat Sampah Plastik Kantong Kresek *High-Density Polyethylene* (HDPE) Per 5 Hari Oleh 200 Larva Ulat Jerman (*Zophobas morio*)

Wadah Ke	Hari ke 0	Hari ke 5	Hari ke 10	Hari ke 15	Hari ke 20	Hari ke 25	Hari ke 30
1	10	9,8	9,6	9,4	9,2	9,1	9,0
2	10	9,8	9,6	9,4	9,2	9,1	9,0
3	10	9,8	9,6	9,4	9,2	9,1	9,0
4	10	9,7	9,5	9,3	9,1	9,0	8,9
5	10	9,8	9,6	9,4	9,2	9,1	9,0
Total	50	48,9	47,9	46,9	45,9	45,4	44,9

Tabel 4.2. 1 Penurunan Berat Sampah Plastik Bungkus Makanan *Low-Density Polyethylene* (LDPE) Per 5 Hari Oleh 200 Larva Ulat Jerman (*Zophobas morio*)

Wadah Ke	Hari ke 0	Hari ke 5	Hari ke 10	Hari ke 15	Hari ke 20	Hari ke 25	Hari ke 30
1	10	9,7	9,5	9,3	9,1	9,0	8,9
2	10	9,6	9,4	9,1	8,9	8,8	8,7
3	10	9,6	9,4	9,2	9,0	8,9	8,8
4	10	9,7	9,4	9,2	9,0	8,9	8,8
5	10	9,7	9,5	9,3	9,1	9,0	8,9
Total	50	48,3	47,2	46,1	44,8	44,6	44,1

Tabel 4.3. 1 Penurunan Berat Sampah *Styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) Per 5 Hari Oleh 200 Larva Ulat Jerman (*Zophobas morio*)

Wadah Ke	Hari ke 0	Hari ke 5	Hari ke 10	Hari ke 15	Hari ke 20	Hari ke 25	Hari ke 30
1	10	8,9	7,5	6,3	5,3	4,2	3,3
2	10	8,7	7,4	6,2	5,4	4,3	3,2
3	10	8,8	7,5	6,1	5,2	4,1	3,4
4	10	8,4	7,3	6,2	5,0	4,4	3,3
5	10	8,5	7,2	6,0	5,3	4,2	3,5
Total	50	43,3	36,9	30,8	26,2	21,2	16,7

Tabel 4.4. 1 Suhu Dan Kelembapan Ruangan Penelitian Pada Sampah Plastik Kantong Kresek *High-Density Polyethylene* (HDPE), Plastik Bungkus Makanan *Low-Density Polyethylene* (LDPE), dan *Styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS)

Suhu dan Kelembapan Hari ke	Suhu (°C)	Kelembapan ( <i>Relative Humidity</i> )
1	27,2	82
2	25,1	77
3	25,3	77
4	25,1	76
5	25,2	76
6	24,7	80
7	24,8	80
8	26,0	75
9	25,6	77
10	25,8	75
11	25,9	75
12	26,0	75
13	26,3	71
14	25,8	73
15	26,1	73
16	26,0	73
17	26,1	73
18	26,3	73
19	26,3	72
20	26,4	72
21	26,5	72
22	26,6	72
23	26,6	71
24	25,8	75
25	25,7	74
26	25,4	76
27	25,3	76
28	24,9	76
29	24,7	75
30	24,8	75

## Lampiran 2. Dokumentasi

### Percobaan Pertama



Penimbangan plastik kantong belanja  
supermarket



Penimbangan plastik kantong kresek



Penimbangan plastik botol PET



Media dengan sampel plastik kantong  
kresek



Media dengan sampel plastik kantong  
belanja supermarket



Media dengan sampel plastik botol  
PET



Gabungan semua media dengan  
*thermohygrometer*



Media dengan sampel plastik gula



Penimbangan plastik *styrofoam*



Media dengan sampel *styrofoam*



Penimbangan plastik *styrofoam* pada saat *post-test*

## Dokumentasi Penelitian

### A. Bahan



Ulat Jerman berumur 2 bulan



Sampah plastik kantong kresek  
*High-Density Polyethylene (HDPE)*

10g



Sampah plastik bungkus makanan  
*Low-Density Polyethylene (LDPE)*

10 g



Sampah *Styrofoam Expanded Polystyrene (EPS)* 10 g



Dedak Padi

B. Alat



*Litter box* yang berukuran (30 cm x 20 cm x 7 cm)



Gunting



Pisau



Timbangan digital 0,1 g



*Thermohygrometer*

### C. Persiapan Penelitian



Penyiapaan media untuk Ulat Jerman



Penimbangan berat awal sampah

plastik kantong kresek *High-Density Polyethylene* (HDPE)



Penimbangan berat awal sampah plastik bungkus makanan *Low-Density Polyethylene (LDPE)*



Penimbangan berat awal sampah *Styrofoam Expanded Polystyrene (EPS)*



Media dedak padi yang sudah diisi masing-masing 200 ekor Ulat Jerman



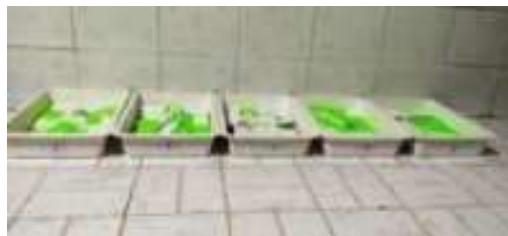
Penambahan sampah plastik pada masing-masing media



Penomoran wadah sampah plastik  
kantong kresek *High-Density*  
*Polyethylene* (HDPE)



Penomoran wadah Penimbangan  
berat awal sampah plastik bungkus  
makanan *Low-Density Polyethylene*  
(LDPE)



Penomoran wadah sampah *Styrofoam*  
*Expanded Polystyrene* (EPS)



Penyusunan wadah yang akan  
diamati selama 30 hari kedepan

#### D. Penimbangan dan Pencatatan Hari ke 5



Penimbangan berat sampah plastik  
kantong kresek *High-Density*  
*Polyethylene* (HDPE) hari ke 5



Penimbangan berat sampah plastik  
bungkus makanan *Low-Density*  
*Polyethylene* (LDPE) hari ke 5



Penimbangan berat sampah *Styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) hari  
ke 5

#### E. Penimbangan dan Pencatatan Hari ke 10



Penimbangan berat sampah plastik  
kantong kresek *High-Density*  
*Polyethylene* (HDPE) hari ke 10



Penimbangan berat sampah plastik  
bungkus makanan *Low-Density*  
*Polyethylene* (LDPE) hari ke 10



Penimbangan berat sampah *Styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) hari  
ke 10

F. Penimbangan dan Pencatatan Hari ke 15



Penimbangan berat sampah plastik  
kantong kresek *High-Density*  
*Polyethylene* (HDPE) hari ke 15



Penimbangan berat sampah plastik  
bungkus makanan *Low-Density*  
*Polyethylene* (LDPE) hari ke 15



Penimbangan berat sampah *Styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) hari  
ke 15

G. Penimbangan dan Pencatatan Hari ke 20



Penimbangan berat sampah plastik  
kantong kresek *High-Density*  
*Polyethylene* (HDPE) hari ke 20



Penimbangan berat sampah plastik  
bungkus makanan *Low-Density*  
*Polyethylene* (LDPE) hari ke 20



Penimbangan berat sampah *Styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) hari  
ke 20

#### H. Penimbangan dan Pencatatan Hari ke 25



Penimbangan berat sampah plastik  
kantong kresek *High-Density*  
*Polyethylene* (HDPE) hari ke 25



Penimbangan berat sampah plastik  
bungkus makanan *Low-Density*  
*Polyethylene* (LDPE) hari ke 25



Penimbangan berat sampah *Styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) hari  
ke 25

## I. Penimbangan dan Pencatatan Hari ke 30



Penimbangan berat sampah plastik  
kantong kresek *High-Density*  
*Polyethylene* (HDPE) hari ke 30



Penimbangan berat sampah plastik  
bungkus makanan *Low-Density*  
*Polyethylene* (LDPE) hari ke 30



Penimbangan berat sampah *Styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) hari  
ke 30

J. Dokumentasi Akhir Penelitian



Sisa sampah plastik kantong kresek  
*High-Density Polyethylene* (HDPE)  
setelah perlakuan sampel



Sisa sampah plastik bungkus  
makanan *Low-Density Polyethylene*  
(LDPE) setelah perlakuan sampel



Sisa sampah *Styrofoam Expanded Polystyrene* (EPS) setelah perlakuan  
sampel



Ulat Jerman yang mati



Pemantauan suhu ruangan dengan alat *thermohygrometer*



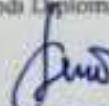
LEMBAR  
KONSULTASI TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Muhammad Farrel Alfirdaus  
NIM : 221110100  
Program Studi : D3 Sanitasi  
Pembimbing I : Dr. Muchsin Riwawanto, SKM, M.Si  
Judul Tugas Akhir : Efektivitas Ulat Jerman (*Zophobas morio*) Dalam Menurunkan Berat Sampah Fiber Sintetis

Bimbingan ke	Hari/Tanggal	Materi Bimbingan	Tanda Tangan Pembimbing
I	Selasa / 21 Januari 2025	Bimbingan Bab I dan II	
II	Rabu / 22 Januari 2025	Bimbingan Bab I, II, dan III	
III	Jumat / 24 Januari 2025	Bimbingan Bab I, II, dan III	
IV	Kamis / 30 Januari 2025	Bimbingan Bab I, II, dan III	
V	Jumat / 31 Januari 2025	Bimbingan Bab I, II, dan III	
VI	Rabu / 05 Maret 2025	Bimbingan Bab I, II, dan III	
VII	Kamis / 06 Maret 2025	Bimbingan Bab I, II, dan III	
VIII	Jumat / 07 Maret 2025	ACC	

Padang, Januari 2025

Ketua Prodi Diploma 3 Sanitasi



Lindawati, SKM, M.Kes  
NIP. 19750613 200012 2 002



LEMBAR  
KONSULTASI TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Muhammad Farrel Alfirdaus  
NIM : 221110100  
Program Studi : D3 Sanitasi  
Pembimbing II : Lindawati, SKM, M.Kes  
Judul Tugas Akhir : Efektivitas Ulat Jerman (*Zophobas morio*) Dalam Menurunkan Berat Sampah Fiber Sintetis

Bimbingan ke	Hari/Tanggal	Materi Bimbingan	Tanda Tangan Pembimbing
I	Senin/ 03 Maret 2025	Bimbingan Bab I, II, dan III	
II	Selasa/ 04 Maret 2025	Bimbingan Bab I, II, dan III	
III	Rabu/ 05 Maret 2025	Bimbingan Bab I, II, dan III	
IV	Kamis/ 06 Maret 2025	Bimbingan Bab I, II, dan III	
V	Jumat/ 07 Maret 2025	Bimbingan Bab I, II, dan III	
VI	Senin/ 10 Maret 2025	Bimbingan Bab I, II, dan III	
VII	Selasa/ 11 Maret 2025	Bimbingan Bab I, II, dan III	
VIII	Selasa/ 11 Maret 2025	Aee Seminar	

Padang, Januari 2025

Ketua Prodi Diploma 3 Sanitasi



Lindawati, SKM, M.Kes  
NIP.19750613 200012 2 002



LEMBAR  
KONSULTASI TUGAS AKHIR

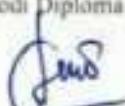
Nama Mahasiswa : Muhammad Farrel Alfirdaus  
NIM : 221110100  
Program Studi : D3 Sanitasi  
Pembimbing I : Dr. Muchsin Riviwanto, SKM, M.Si  
Judul Tugas Akhir : Kemampuan Ulat Jerman (*Zophobas morio*) Dalam Menurunkan Berat Sampah Plastik

Bimbingan ke	Hari/Tanggal	Materi Bimbingan	Tanda Tangan Pembimbing
I	Senin / 26 Mei 2025	Pada Bab IV, mencari literatur yang memastikan Ulat Jerman aman untuk dikonsumsi, perbaikan kata pengulangan menjadi wadah, dan sesuaikan antara Bab III dengan Bab IV.	
II	Rabu / 28 Mei 2025	Pada Bab IV, perbaikan tabel analisis data anova.	
III	Senin / 2 Juni 2025	Pada Bab IV, perbaikan definisi operasional dan alur pikir. Pada Bab III, sketsa penelitian pindahkan pada bagian lampiran, tambahkan, pengolahan data, dan pelajari analisis data manova. Pada Bab IV, perbaikan bahasa pada yang kurang ilmiah, periksa kembali spasi, buat berat rata-rata masing-masing wadah dan perbaiki data hasil.	
IV	Rabu / 4 Juni 2025	Pada Bab III, analisis data anova diganti dengan melihat rata-rata penurunan berat sampah. Pada Bab IV, perbaiki tabel hasil, hasil dibuat secara dekriptif, pembuatan grafik digabung dengan mengambil data rata-rata, dan data per 5 hari tidak perlu dicantumkan.	

V	Kamis / 5 Juni 2025	Pada Bab I, perbaikan bahasa yang kurang ilmiah, penelitian, pemborosan kata-kata terdahulu, dan hilangkan kebaruan dan dipindahkan ke pembahasan, Pada Bab II, hipotesis penelitian dihapus, perbaikan alur pikir, dan definisi operasional. Pada Bab III, perbaikan lokasi penelitian, objek penelitian, penambahan bahan dan alat, perbaikan bahasa yang kurang ilmiah. Pada Bab IV, jelaskan proses penggerjaan, tambahkan gambaran kegiatan penelitian, perbaiki posisi judul tabel, perbaikan bahasa yang kurang ilmiah, tambahkan satuan, perbaikan tabel, dan perbaikan pembahasan. Pada Bab V, sesuaikan kesimpulan dengan tujuan khusus.	
VI	Selasa / 10 Juni 2025	Pada Bab II, perbaikan definisi operasional. Pada Bab III, perbaikan rumus. Pada Bab IV, perbaikan tabel, perbaikan penjelasan hasil, perbaikan bahasa yang kurang ilmiah, gambaran umum, dan merapihkan tabel.	
VII	Kamis / 12 Juni 2025	Pada Bab IV, perbaikan nomor tabel, tabel yang terpotong, dan pertajam analisa pada bagian pembahasan.	
VIII	Jumat / 13 Juni 2025		

Padang, Juni 2025

Ketua Prodi Diploma 3 Sanitasi



Lindawati, SKM, M.Kes

NIP.19750613 200012 2 002



LEMBAR  
KONSULTASI TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Muhammad Farrel Alfirdaus

NIM : 221110100

Program Studi : D3 Sanitasi

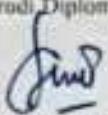
Pembimbing II : Lindawati, SKM, M.Kes

Judul Tugas Akhir : Kemampuan Ulat Jerman (*Zophobas morio*) Dalam Menurunkan Berat Sampah Plastik

Bimbingan ke	Hari/Tanggal	Materi Bimbingan	Tanda Tangan Pembimbing
I	Senin / 26 Mei 2025	Pada Bab III, perbaikan kata di rencanakan menjadi di laksanakan.	
II	Selasa / 27 Mei 2025	Pada Bab III, perbaikan tata naskah penulisan sesuai dengan buku pedoman tugas akhir	
III	Selasa / 3 Juni 2025	Pada Bab IV, perbaikan kata-kata yang tidak baku dan kesalahan pengetikan	
IV	Rabu / 4 Juni 2025	Pada Bab IV, perbaikan pada penulisan angka.	
V	Kamis / 5 Juni 2025	Pada Bab III, perbaikan peletakan waktu dan tempat.	
VI	Senin / 16 Juni 2025	Pada Bab V, perbaikan kesalahan pengetikan pada bagian saran.	
VII	Selasa / 17 Juni 2025	Pada bagian abstrak, perbaikan penulisan tata naskah dan kesalahan pengetikan.	
VIII	Rabu / 18 Juni 2025	<i>Reza Seminar</i>	

Padang, Juni 2025

Ketua Prodi Diploma 3 Sanitasi



Lindawati, SKM, M.Kes

NIP. 19750613 200012 2 002

## Lampiran 4. Hasil Pengecekan Plagiasi

turnitin Page 2 of 10: Similarity Overview Submission ID: 01000000000000000000000000000000

### 5% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for this document

Filtered from the Report:

- Uniqueness
- Quoted Text

#### Top Sources

(1)  Internet Sources

(1)  Publications

(1)  Submitted works (Student Papers)

#### Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No recognized and manipulative flags found.

This document did not contain any of a document's key characteristics that would lead a person to believe it is a copied submission. If you notice something strange, we may be able to review.

A flag is not necessarily an indication of a problem. However, well-known flags should not be taken from the document.

turnitin Page 2 of 10: Similarity Overview Submission ID: 01000000000000000000000000000000

**Top Sources**

- (1) Internet sources
- (1) Publication
- (1) Submitted work (Blinded Paper)

**Top Sources**

The sources with the highest number of matches within the document. Overlapping sources will not be displayed.

Publication	
Yasaman Geng. "Polyethylene/Starch-based Biocomposites and Biomasscomposit..."	1%
Sri Fitia Elvira, Eka Wermesa Ati, Sriati Bahrul, Ratna Adhikensi, Ida Widya Sari, Aini...	1%
Dayi Purnama Sri, Hermayyah Amri, Rina Elvira. "ISOLASI BAKTERI DARI TANAH..."	1%
Muhammad Iham Rulhan. "Implementasi Cicilick : Upaya Pengelolaan Sampai..."	1%
Sri Nurhayati, Kuswanto Kuswanto, Muhammad Syaefi. "THE UTILIZATION OF GEO..."	1%
Senny Wicagputra, Karim Abdurrah, Karim Abdurrah, Maomuli Hanif (ypt), Maom...	1%
Nizamur Rohman, Yuni Suciarti, Yeni Vanyana, Lukman Harsi Kurniawan, Muslim...	1%
Anis Mulyaruddi, Irfan Bahmanovi. "PENBUATAN RECYCLE PLASTIK HDPE SEDERHA..."	1%
Ahmad Putra. "Peran Kepala Madrasah Dalam Pencegahan Narkoba Akhirnya Saya Jadi..."	1%
Zia Falzurul Rizqi, Dian Samira, Hanroka Hanroka. "PENGOLAHAN SAMPAH OR..."	1%