



## Laju Degradasi Beberapa Jenis Plastik Menggunakan Ulat Hongkong (*Tenebrio molitor L.*) dan Ulat Jerman (*Zophobas atratus F.*)

### Degradation Rate of Several Plastics Type Using Mealworm (*Tenebrio molitor L.*) and Germany Superworm (*Zophobas atratus F.*)

ICHSAN LUQMANA INDRA PUTRA<sup>1\*</sup>, NILA MA'RUFAH<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Riset Ekologi dan Sistematika, Program Studi Biologi, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta

<sup>2</sup>Program Studi Biologi, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta

\*ichsan.luqmana@bio.uad.ac.id

#### ARTICLE INFO

##### Article history

Received 3 March 2021

Accepted 8 December 2021

Published 23 January 2022

##### Keywords:

Degradasi

HDPE

LDPE

*Tenebrio molitor*

*Zophobas atratus*

#### ABSTRACT

Excessive consumption of plastic material causes a higher amount of plastic waste, which causes environmental pollution. This study aims to determine the degradation rate of several types of plastics using *Tenebrio molitor* and *Zophobas atratus* in the laboratory. The research was conducted from September 2020–March 2021 at the Ecology and Systematic Laboratory, Faculty of Applied Science and Technology, Ahmad Dahlan University, Yogyakarta. The study used 10 of the 6th instar caterpillars with five repetitions. The treatment was used three types of plastic samples, namely: Polypropylene (PP), High-Density Polyethylene (HDPE) and Low-Density Polyethylene (LDPE), each of which was given as much as 1 gram. The control treatment was given 1 gram of bran feed. Each caterpillar was measured for its body weight and length every three days and carried out for 30 days. The data results were analyzed statistically inferential at the 5% confidence level. The parameters observed were the increase in length and weight of *T. molitor* and *Z. atratus*, degradation rate, and the Waste Reduction Index (WRI). The highest average length value for larvae was *T. molitor* HDPE plastic (1.83 cm), and the lowest was LDPE (1.41 cm), while body weight measurements showed constant weight values (0.07 gr). Size of the length of larvae *Z. atratus* showed the highest average body length value for LDPE plastic (3.70 cm) and the lowest in control (3.46 cm), while the weight gain showed an average range of 0.41–0.43 grams. The counting of values of degradation rate and WRI obtained the highest to lowest results, respectively, namely, control (0.075), PP (0.011), LDPE (0.009), and HDPE (0.007) in *T. molitor*. While the values of degradation rate and WRI in *Z. atratus* were control (0.038), PP (0.032), LDPE (0.014), and HDPE (0.004). For the WRI, in *T. molitor*, the highest was control (2.51%), and lowest was HDPE (0.22%), while in *Z. atratus*, the highest was control (1.26%), and lowest was HDPE (0.12%).

#### INFORMASI ARTIKEL

##### Histori artikel

Diterima 3 Maret 2021

Disetujui 8 Desember 2021

Diterbitkan 23 Januari 2022

##### Kata kunci:

Degradasi

HDPE

LDPE

*Tenebrio molitor*

*Zophobas atratus*

#### ABSTRAK

Konsumsi berlebih terhadap bahan plastik mengakibatkan jumlah sampah plastik semakin tinggi sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, perlu adanya sebuah upaya untuk mengurangi sampah plastik secara alami. Penelitian ini bertujuan mengetahui laju degradasi beberapa jenis plastik menggunakan ulat hongkong (*Tenebrio molitor L.*) dan ulat jerman (*Zophobas atratus F.*) di Laboratorium. Penelitian dilaksanakan September 2020–Maret 2021 di Laboratorium Ekologi dan Sistematik, Fakultas Sains dan Teknologi Terapan, Universitas Ahmad Dahlan, Yogyakarta. Plastik yang digunakan yaitu *Polypropylene* (PP), *High-Density Polyethylene* (HDPE), dan *Low-Density Polyethylene* (LDPE) masing-masing sebanyak 1 gram. Perlakuan kontrol diberikan pakan dedak sebanyak 1 gram. Setiap ulat diukur bobot dan panjang tubuhnya setiap 3 hari sekali selama 30 hari. Hasil data yang diperoleh dianalisis secara statistik inferensial pada taraf kepercayaan 5%. Parameter yang diamati yaitu penambahan panjang dan bobot larva, laju degradasi, dan waste reduction indeks (WRI). Nilai rerata panjang tertinggi *T. molitor* adalah HDPE (1,83 cm) dan terendah LDPE (1,41 cm). Pengukuran bobot tubuh menunjukkan nilai bobot yang seragam (0,07 gr). Pengukuran *Z. atratus* menunjukkan nilai rata-rata panjang tubuh tertinggi pada LDPE (3,70 cm) dan terendah pada HDPE (3,49 cm). Pertambahan bobot menunjukkan rata-rata berkisar antara 0,41–0,43 gram. Perhitungan nilai laju degradasi tertinggi dan terendah yaitu PP (0,011) dan HDPE (0,007) pada *T. molitor*. Perhitungan nilai laju degradasi tertinggi dan terendah pada *Z. atratus* adalah PP (0,032) dan HDPE (0,004). Nilai WRI tertinggi dan terendah pada *T. molitor* yaitu PP (0,36%) dan HDPE (0,22%), sedangkan pada *Z. atratus* yaitu pakan PP (1,08%) dan HDPE (0,12%).

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, permintaan bahan plastik di dunia industri terus meningkat baik industri makanan, pakaian, transportasi, konstruksi, medis maupun rekreasi (Fadhilah & Shovitri, 2014). Indonesia sendiri pada tahun 2018 memiliki permintaan bahan plastik mencapai 7,6 juta ton. Bahan plastik banyak diminati karena lebih praktis, ekonomis, kuat, ringan, dan tahan lama. Namun, sifat bahan plastik yang tahan lama tersebut menyebabkan plastik sulit terdegradasi sehingga akan menumpuk dan mencemari lingkungan. Selama ini, jenis plastik yang banyak ditemui di lingkungan adalah *Polypropylene* (PP) dan *Polyethylene*. Plastik jenis *Polyethylene* terbagi atas dua macam, yaitu *Low Density Polyethylene* (LDPE) dan *High Density Polyethylene* (HDPE) (Pani *et al.*, 2017).

Sampah plastik biasanya diatasi dengan cara dibakar yang dapat mencemari lingkungan melalui polusi asap yang dihasilkan. Pembakaran plastik menghasilkan asap yang mengandung banyak senyawa toksik seperti keton, akrolein, dan gas rumah kaca (metana) yang dapat mengganggu kesehatan dan pencemaran lingkungan (Kundungal *et al.*, 2018). Selain dibakar, penanganan sampah plastik yang ada selama ini juga belum menunjukkan hasil yang maksimal. Menurut Sari (2017), upaya reduksi sampah plastik dengan merubah sampah plastik menjadi barang kerajinan dinilai kurang menarik sehingga daya jualnya terbilang rendah. Oleh karena itu, perlu adanya sebuah upaya untuk mengurangi sampah plastik secara alami tanpa merusak lingkungan, salah satunya dengan menggunakan agen biologi. Agen biologi yang sudah digunakan dalam mendegradasi plastik adalah mikroorganisme. Mikroorganisme yang diketahui mampu mendegradasi limbah plastik salah satunya adalah *Pseudomonas sp.* Isolat *Pseudomonas sp.* terbukti mampu mendegradasi sampah plastik hitam sebesar 2,7%, plastik putih sebesar 3,3%, dan plastik transparan sebesar 4,5% selama 3 bulan masa inkubasi (Sriningsih & Shovitri, 2015). Namun, studi mengenai mikroba pendegradasi plastik menunjukkan bahwa dalam mendegradasi plastik, mikroba memerlukan waktu yang lama (Kundungal *et al.*, 2018). Selain mikroorganisme, terdapat agen biologi lain yang diketahui mampu mendegradasi plastik. Agen biologi tersebut adalah ulat jerman (*Zophobas atratus F.*) dan ulat hongkong (*Tenebrio molitor L.*) (Peng *et al.*, 2020; Sari *et al.*, 2019)

Larva ulat hongkong dapat mendegradasi plastik polystyrene seberat 5,8 gram dalam 30 hari untuk 500 larva (Manullang *et al.*, 2018). Selain ulat hongkong, ulat jerman juga memiliki potensi dalam mendegradasi plastik polystyrene dan LDPE. Ulat jerman mampu memecah polimer pada plastik polystyrene (PS) dan LDPE dalam waktu singkat, yaitu dalam 33 hari seberat  $61,5 \pm 1,6$  mg dan  $58,7 \pm 1,8$  mg/100 larva (Peng *et al.*, 2020). Namun, informasi mengenai perbandingan kemampuan ulat jerman dan ulat hongkong dalam mendegradasi 3 jenis plastik yaitu PP, LDPE, dan HDPE belum diketahui. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai perbandingan kemampuan ulat jerman dan ulat hongkong dalam mendegradasi 3 jenis plastik tersebut sebagai salah satu upaya dalam membantu mengurangi pencemaran sampah plastik.

### 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain: 1) mengetahui pertambahan panjang dan bobot tubuh ulat hongkong (*T. molitor*) dan ulat jerman (*Z. atratus*) setelah diberi pakan masing-masing jenis plastik; 2) menghitung laju degradasi plastik *Polypropilena* (PP), *High Density Polyethylene* (HDPE), dan *Low Density Polyethylene* (LDPE) menggunakan ulat hongkong (*T. molitor*) dan ulat jerman (*Z. atratus*); dan 3) menghitung indeks reduksi sampah (WRI) plastik jenis *Polypropilena* (PP), *High Density Polyethylene* (HDPE), dan *Low Polyethylene* (LDPE) setelah ulat hongkong (*T. molitor*) dan ulat jerman (*Z. atratus*) diberi pakan masing-masing jenis plastik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran dan solusi mengenai pemanfaatan ulat hongkong dan ulat jerman sebagai agen degradasi sampah plastik di lingkungan dan menerapkan pengolahan sampah yang lebih ramah lingkungan.

## 2. METODE

### 2.1 Bahan

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah ulat hongkong (*T. molitor*) dan ulat jerman (*Z. atratus*) instar 6. Instar 6 yang dimaksud disini adalah larva dari ulat hongkong dan ulat jerman yang sudah mengalami pergantian kulit sebanyak 5 kali. Bahan selanjutnya adalah plastik uji, yaitu: PP (tutup wadah gelas plastik), HDPE (plastik bening 10 x 70 cm) serta LDPE (kantong keresek putih LDPE Biodegradable), pakan ayam (dedak) sebagai perlakuan kontrol, milimeter block untuk mengukur panjang larva, minyak goreng untuk mencegah semut mengganggu larva, karet untuk merekatkan kain kasa sebagai penutup wadah gelas plastik dan kertas label ukuran 1,1 x 3 cm untuk melabeli perlakuan penelitian.

### 2.2 Metode

#### 2.2.1 Tahap persiapan pemeliharaan larva

Penelitian dimulai dengan persiapan tempat pemeliharaan. Rak disiapkan untuk meletakkan wadah gelas plastik. Bagian bawah rak diberi gelas plastik yang diisi minyak goreng agar saat pemeliharaan larva tidak diganggu oleh semut. Wadah gelas plastik disiapkan sebanyak 20 wadah per jenis larva sebagai tempat pemeliharaan. Tempat pemeliharaan disesuaikan dengan suhu pertumbuhan optimal untuk larva yaitu 25 °C sampai 30 °C (Rahman *et al.*, 2018; Park *et al.*, 2014). Sebelum dilakukan peletakan larva, dilakukan pembersihan wadah terlebih dahulu dengan menggunakan kuas.

#### 2.2.2 Tahap persiapan plastik yang digunakan

Jenis plastik yang digunakan adalah *Polypropilena* (tutup wadah gelas plastik), *High-Density Polyethylene* (kantong plastik 10 x 70 cm), dan *Low-Density Polyethylene* (kantong keresek putih LDPE Biodegradable). Plastik yang akan diuji dipotong dengan ukuran 2 x 2 cm menggunakan gunting (Sari *et al.*, 2019). Kemudian masing-masing plastik ditimbang sebanyak 1 gram dengan timbangan analitik (Yang *et al.*, 2020).

2.2.3 Tahap perlakuan

Ulat hongkong (*T. molitor*) dan ulat jerman (*Z. atratus*) instar 6 dimasukkan ke dalam wadah gelas plastik. Selanjutnya diberikan perlakuan pakan yaitu Polypropilena, High Density Polyethylene, dan Low Density Polyethylene yang telah dipotong 3 x 3 cm. Sementara, untuk perlakuan kontrol diberikan pakan ayam (dedak) sebanyak 1 gram (Peng *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2020). Perlakuan yang diberikan pada masing-masing kelompok larva adalah 1 gram plastik dengan masing-masing kelompok berisi 10 ekor larva, hal ini diperkuat oleh Hapsari *et al.* (2018) dan diulang sebanyak 5 kali, sehingga total setiap perlakuan termasuk perlakuan kontrol sebanyak 50 ekor larva dan total keseluruhan perlakuan sebanyak 200 larva. Wadah plastik yang telah berisi 10 larva dan perlakuan pakan ditutup dengan kain kasa. Sisa pakan pada semua perlakuan dicek setiap 3 hari sekali. Jika pakan telah habis maka ditambahkan pakan sebanyak 1 gram baik perlakuan maupun kontrol. Total pakan yang ditambahkan pada setiap perlakuan dapat berbeda tergantung habis tidaknya pakan yang diberikan sebelumnya. Semua larva tiap perlakuan diukur panjang dan bobot tubuhnya tiap 3 hari sekali dan dilakukan selama 30 hari (Yang *et al.*, 2017).

2.2.4 Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis inferensial. Analisis data dimulai dengan melakukan uji normalitas dari hasil yang didapatkan. Uji normalitas menggunakan uji Shapiro-Wilk. Apabila hasil yang didapat tidak normal, maka dilanjutkan dengan uji lanjut non-parametrik Kruskal Wallis. Apabila uji yang didapat normal, dilanjutkan uji homogenitas. Uji homogenitas dengan menggunakan uji Levene. Apabila uji homogenitas data yang didapat tidak homogen, maka dilanjutkan dengan menggunakan uji lanjut non-parametrik Kruskal Wallis, sedangkan apabila data yang didapatkan homogen maka dilanjutkan uji *One Way Anova*. Uji lanjut Anova menggunakan Uji Duncan. Taraf kepercayaan yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 5%.

Analisis laju degradasi sampah plastik dan jenis plastik yang paling cepat didegradasi ditentukan berdasarkan tingkat reduksi yang dihasilkan pada tiap jenis sampah plastik yang diberikan. Tingkat reduksi sampah plastik oleh larva dipengaruhi oleh 2 faktor, yaitu laju degradasi dan waktu yang diperlukan untuk mendegradasi sampah (Diener, 2010). Tingkat degradasi dilihat dari selisih berat awal plastik dan berat akhir plastik. Tingkat reduksi oleh larva sebagai *Waste Reduction Index (WRI)* dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Diener, 2010).

$$D = (W - R) / W \dots\dots\dots (1)$$

$$WRI = (D \times 100) / t \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

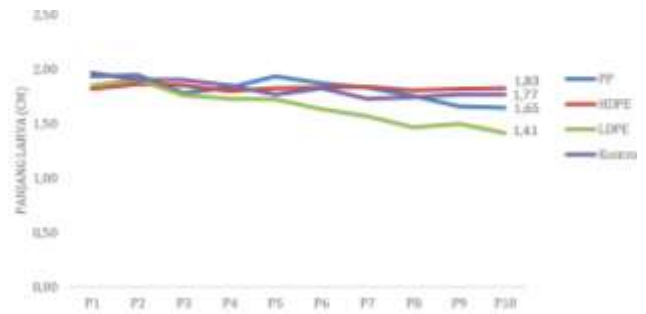
- W : berat awal sampah plastik
- R : berat akhir sampah plastik
- t : waktu yang diperlukan untuk mendegradasi sampah
- D : tingkat degradasi sampah
- WRI : Indeks reduksi sampah

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Panjang dan Bobot Tubuh

3.1.1 Ulat Hongkong (*Tenebrio molitor* L.)

Hasil pengukuran panjang larva *T. molitor* menunjukkan rata-rata nilai panjang tertinggi yaitu plastik HDPE (1,83 cm) dan nilai terendah LDPE (1,41 cm). Hasil pengukuran panjang pada plastik perlakuan mendapatkan hasil yang lebih rendah dibandingkan pada kontrol (1,77 cm), kecuali pada perlakuan HDPE (Gambar 1).



Gambar 1. Rerata pertambahan panjang larva *T. molitor*

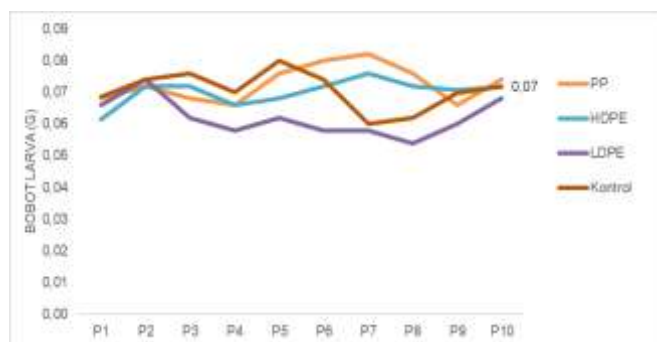
Rerata panjang paling tinggi didapatkan pada pakan HDPE. Pakan HDPE pada penelitian ini menggunakan plastik bening (10 x 70 cm). Tingginya rerata panjang larva ulat hongkong yang didapatkan pada pakan HDPE dikarenakan pada perlakuan HDPE terdapat sedikit larva yang mati, selain itu juga panjang masing-masing larva pada saat penelitian mempengaruhi tingginya rerata panjang ulat hongkong pada pakan HDPE. Sedikitnya larva yang mati ini dikarenakan pakan HDPE tidak tertumpuk dalam wadah pemeliharaan, sehingga tidak membatasi pergerakan larva. Hal ini sesuai dengan penelitian yang menyatakan bahwa pakan yang berlebih sehingga membatasi pergerakan larva akan menurunkan tingkat survival larva, begitupun sebaliknya (Wang *et al.*, 2014). Semakin lebar ruang bagi larva untuk bergerak makan larva akan mendapatkan ruang gerak yang lebih luas, sehingga larva dapat menghindari adanya kompetisi antar individu di dalamnya. Berkurangnya kompetisi ini yang menyebabkan semakin sedikit larva yang mati pada perlakuan HDPE dan panjang dari masing-masing larva pada saat penelitian menyebabkan nilai rerata panjang pada plastik HDPE lebih tinggi dibandingkan plastik lainnya. Selain itu, tingginya nilai rerata panjang pakan HDPE diduga karena plastik HDPE yang digunakan memiliki karakteristik plastik lebih tebal dan kerapatan yang tinggi (0,94–0,965 gr/cm<sup>3</sup>) (Klepka *et al.*, 2009). Hal inilah yang memungkinkan ketika larva memakan plastik ini larva menjadi lebih panjang, karena sisa plastik HDPE yang berada di usus larva menyebabkan ukuran tubuh larva. Apabila terjadi pertambahan panjang pada perlakuan pakan plastik, hal tersebut didapat dari sisa pencernaan plastik, akibat memakan larva yang mati atau larva yang berganti kulit (*molting*) (Yang *et al.*, 2020).

Hasil rerata panjang paling rendah didapatkan pada pakan plastik LDPE. Hal ini diduga karena pertumbuhan larva pada perlakuan LDPE banyak yang mengalami kematian. Kematian ini disebabkan karena plastik LDPE yang digunakan sangat ringan, sehingga ketika diberikan sebanyak

1 gram, plastik menjadi tertumpuk dan memenuhi wadah. Plastik yang tertumpuk menyebabkan kepadatan populasi larva dalam wadah menjadi tinggi. Apabila pakan yang diberikan terlalu padat akan menyebabkan ruang gerak menjadi semakin sempit. Semakin sempit ruang gerak dari ulat tersebut, maka kompetisi untuk mendapatkan ruang akan semakin tinggi. Hal ini sesuai dengan penelitian dari Klepka *et al.* (2009), yang menyatakan bahwa semakin sempit ruang gerak suatu organisme dalam suatu populasi pada suatu ekosistem, akan menyebabkan meningkatnya kompetisi dalam memperebutkan ruang tersebut. Selain itu, penyempitan ruang gerak juga akan menyebabkan ketidakefektifan ulat dalam mencari pakan. Semakin sempit ruang gerak organisme akan mengakibatkan berkurangnya keefektifan organisme tersebut dalam mencari makanan (Morris *et al.*, 2005). Terlalu padatnya tempat pemeliharaan, baik oleh jumlah individu ataupun jumlah pakan yang diberikan, dapat menyebabkan terjadinya stress pada serangga yang dipelihara. Tempat pemeliharaan yang memiliki kepadatan populasi tinggi menunjukkan kematian individu pada Famili Tenebrionidae menjadi semakin cepat, bahkan sebelum menjadi fase pupa (Kim *et al.*, 2015). Hal ini diduga karena adanya kompetisi antar larva yang menyebabkan larva stres dan akhirnya banyak yang mengalami kematian.

Seharusnya rerata panjang pada pemberian pakan dedak lebih tinggi daripada pemberian pakan yang lain karena pada dedak terdapat kandungan protein, lemak, serat kasar, karbohidrat, antioksidan, vitamin, dan mineral yang digunakan untuk perkembangan dan pertumbuhan larva (Wizna & Muis, 2012; Susrama, 2017). Akan tetapi, hasil pada pakan dedak didapatkan hampir sama nilainya dengan perlakuan lain (1,77 cm). Selain adanya kompetisi antar larva, pakan dedak mudah mengalami ketengikan. Lemak dan minyak pada dedak menyebabkan dedak mudah mengalami ketengikan (Hapsari *et al.*, 2018). Ketengikan dapat menyebabkan larva *T. molitor* mengalami stres sehingga mengurangi konsumsi pakan, bahkan sampai mengalami kegagalan dalam proses *molting*. Ketengikan yang diakibatkan oleh dedak menyebabkan larva *T. molitor* mengalami kegagalan dalam proses *molting* dan perubahan larva menjadi pupa (Hapsari *et al.*, 2018).

Selain pertambahan panjang, variabel lain yang diukur dalam penelitian ini adalah pertambahan bobot tubuh. Pengukuran bobot tubuh larva *T. molitor* dari ketiga jenis plastik dan kontrol menunjukkan nilai bobot yang seragam, yaitu sebesar 0,07 gram (Gambar 2).

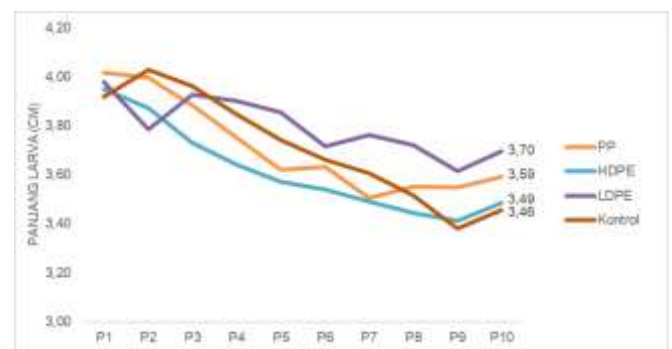


Gambar 2. Rerata pertambahan bobot larva *T. molitor*

Hasil penelitian yang didapatkan tersebut terjadi karena larva *T. molitor* berada pada fase instar awal (instar 6). Instar 6 biasanya terjadi pada umur 28–38 hari dengan berat 0,07 gram, tergantung pada lingkungan (suhu dan kelembapan) dan kualitas pakan (Hapsari *et al.*, 2018). Pertumbuhan *T. molitor* pada instar awal mengkonsentrasikan energinya untuk pertambahan panjang, sedangkan instar akhir untuk pertambahan bobot tubuh (Manullang *et al.*, 2019). Oleh karena itu, pada instar yang digunakan terlihat hanya pertambahan panjang saja, sedangkan pertambahan bobot tubuh tidak terlihat nyata. Seharusnya pada penelitian ini rerata bobot tubuh yang paling berat dimiliki oleh pemberian pakan dedak dikarenakan pada dedak memiliki kandungan karbohidrat yang digunakan untuk metabolisme energi (Susrama, 2017). dan pertambahan bobot larva. Akan tetapi, hasil rerata bobot yang didapatkan sama antara kontrol dan perlakuan. Hal ini mungkin disebabkan karena pada perlakuan dedak terdapat kompetisi dalam mengkonsumsi pakan sehingga menyebabkan larva stres dan mengurangi konsumsi pakan (Bauerfeind & Fischer, 2005; Morales & Rojas, 2015). Kompetisi untuk mendapatkan makanan yang tinggi akan mengakibatkan tingkat stress yang tinggi juga pada larva serangga, salah satunya larva dari Famili Tenebrionidae (Morales & Rojas, 2015). Semakin tinggi kompetisi dalam mencari atau mendapatkan makanan, maka tingkat stress pada larva dari Famili Tenebrionidae juga akan semakin tinggi (Morales & Rojas, 2015). Selain karena adanya kompetisi, faktor lain yang mempengaruhi kecilnya bobot larva pada pakan kontrol adalah karena adanya ketengikan pada perlakuan dedak sehingga mengurangi konsumsi pakan larva *T. molitor*. Ketengikan pada dedak disebabkan oleh lemak dan minyak yang mengalami proses hidrolitik dan oksidatif. Adanya ketengikan tersebut dapat mempengaruhi laju konsumsi dari ulat hongkong yang dapat menyebabkan kecilnya bobot larva ulat hongkong pada pakan kontrol tersebut.

### 3.1.2 Ulat Jerman (*Zophobas atratus* F.)

Pengukuran panjang larva *Z. atratus* yang didapatkan dari perlakuan ketiga jenis plastik dan perlakuan kontrol. Hasil rata-rata panjang tubuh larva menunjukkan nilai tertinggi pada plastik LDPE (3,70 cm) dan terendah pada kontrol (3,46 cm) (Gambar 3).



Gambar 3. Rerata pertambahan panjang larva *Z. atratus*

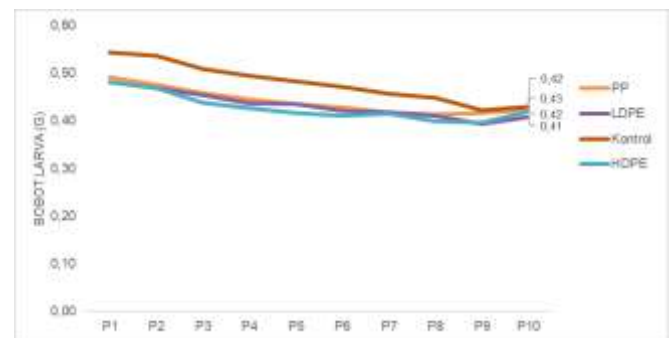
Hasil penelitian mendapatkan perlakuan LDPE memiliki rerata panjang tertinggi. Hal ini disebabkan karena LDPE yang digunakan dalam penelitian ini merupakan plastik LDPE yang memiliki kandungan pati atau dikenal

dengan plastik biodegradable. Plastik tersebut diperoleh dari kantong plastik beberapa ritel. Beberapa ritel dan pusat pembelanjaan sudah menggunakan kantong plastik biodegradable yang lebih ramah lingkungan (Astuti, 2016). Salah satu bahan baku yang digunakan untuk pembuatan plastik biodegradable adalah pati (Kamsiati *et al.*, 2017). Salah satu jenis pati yang sering digunakan sebagai bahan baku plastik biodegradable di Indonesia adalah ubi kayu. Pati ubi kayu mengandung air, pati, serat, protein serta komponen lain (mineral, lemak, dan gula) (Purnamasari *et al.*, 2018). Kandungan mineral seperti kalsium, kalium, nitrogen, fosfor, dan lain-lain berfungsi untuk pertumbuhan dan perkembangan serangga (Kundungal *et al.*, 2018). Hal inilah yang mungkin dapat menyebabkan larva yang memakan plastik ini akan lebih mendapatkan nutrisi sehingga dapat menambah pertumbuhan dan perkembangan larva. Hal ini sesuai dengan penelitian Purnamasari *et al.* (2018), yang menyatakan bahwa perbedaan pertumbuhan larva dapat terjadi karena ketersediaan nilai nutrisi pada pakan. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa ukuran tubuh larva sangat terkait dengan tingkat kepompong (Sehna, 1985). Variabilitas perkembangan tenebrionid tergantung pada dua parameter yaitu jumlah instar larva dan durasi setiap instar larva. Studi sebelumnya mengatakan bahwa hormon juvenil berperan dalam menentukan variabilitas perkembangan fisiologis larva, periode pencernaan serta persentase perkembangan larva meningkat oleh hormon juvenil (Connat *et al.*, 1991; Feyereisen, 1985).

Seharusnya pakan kontrol memiliki rerata pertambahan panjang paling tinggi dibandingkan pakan lainnya. Kecilnya nilai yang didapatkan pada kontrol dikarenakan banyak larva yang mati selama penelitian berlangsung, selain itu juga dipengaruhi oleh nilai panjang dari masing-masing individu dalam populasi itu. Adanya perbedaan panjang tiap individu dapat terjadi karena faktor genetik ataupun lingkungan, sehingga dapat menyebabkan gangguan pada proses fisiologis maupun perilaku pada tiap individu dan berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangbiakan larva tersebut. Tingginya angka kematian pada kontrol ini dikarenakan kompetisi dalam mengkonsumsi dedak. Kompetisi yang terjadi pada kontrol ini menyebabkan larva *Z. atratus* melakukan kanibalisme, sehingga banyak yang mengalami kematian. Hal ini sesuai dengan penelitian Yang *et al.* (2020), bahwa kanibalisme pada larva *Z. atratus* lebih tinggi dibandingkan larva *T. molitor* disaat kondisi kekurangan pakan. *Zophobas atratus* di alam menghindari adanya kompetisi dengan meninggalkan tempat yang memiliki populasi tinggi (Tschinkel, 1981). Oleh karena itu, kondisi tempat pemeliharaan yang padat dan sedikit terdapat makanan dapat meningkatkan terjadinya kanibalisme pada larva *Z. atratus*. Kematian pada perlakuan kontrol *Z. atratus* lebih disebabkan karena adanya kompetisi perebutan pakan dibandingkan terjadinya ketengikan pada pakan. Hal ini dikarenakan konsumsi dedak yang tinggi oleh larva *Z. atratus*, sehingga pakan kontrol yang diberikan belum sempat menjadi tengik. Tingginya laju konsumsi dedak ini yang menyebabkan kompetisi dalam mendapatkan makanan menjadi lebih tinggi pada larva *Z. atratus*.

Tingginya nilai rerata panjang larva pada *Z. atratus* tidak menunjukkan nilai tertinggi pada plastik HDPE seperti halnya pada *T. molitor*. Hal ini diduga karena jika

dibandingkan antara plastik LDPE dan HDPE, larva *Z. atratus* lebih menyukai plastik LDPE meskipun pada perlakuan plastik LDPE pakan tertumpuk. Pakan yang tertumpuk pada perlakuan *Z. atratus* tidak memberikan pengaruh terhadap konsumsi larva. Hal tersebut dikarenakan tubuh larva yang lebih besar dari *T. molitor*, sehingga larva dari ulat jerman tetap dapat survive meskipun pakan yang diberikan tertumpuk. Selain memiliki badan yang lebih besar, karakteristik plastik LDPE yang mengandung pati lebih disukai oleh larva *Z. atratus* karena larva tersebut telah terbiasa memakan pakan yang mengandung pati, misalnya dedak. Selain pertambahan panjang, pertambahan bobot *Z. atratus* juga dihitung pada penelitian ini. Nilai rerata bobot tubuh *Z. atratus* berkisar antara 0,41–0,43 gram (Gambar 4).



Gambar 4. Rerata pertambahan bobot larva *Z. atratus*

Sama halnya dengan *T. molitor*, *Z. atratus* berada pada fase instar awal (instar 6). Hal inilah yang menyebabkan pertumbuhan *Z. atratus* pada instar awal mengkonsentrasikan energinya untuk pertambahan panjang, sehingga pertambahan bobot tidak tampak. Hal ini sesuai dengan pernyataan Manullang *et al.* (2018), bahwa pertumbuhan larva pada fase awal menunjukkan pertambahan panjang sedangkan pada fase akhir menunjukkan pertambahan bobot tubuh.

Seharusnya bobot yang didapatkan pada perlakuan kontrol lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya, akan tetapi hasil yang didapatkan perlakuan kontrol juga mendapatkan bobot yang kurang lebih sama dengan perlakuan lainnya. Hal ini disebabkan adanya larva pada perlakuan kontrol yang mati selama penelitian, sehingga mengakibatkan bobot yang didapatkan pada kontrol sama dengan perlakuan lainnya. Perlakuan kontrol menggunakan pakan ayam (dedak). Dedak mengandung protein, lemak, serat kasar, karbohidrat, antioksidan, vitamin, dan mineral (Wizna & Muis, 2012). Seharusnya dengan adanya kandungan vitamin dan mineral pada dedak dapat menyebabkan bertambahnya bobot tubuh dari suatu organisme. Vitamin dan mineral pada serangga berfungsi dalam percepatan pertumbuhan dan perkembangan larva (Susrama, 2017). Selain itu, kandungan mineral seperti kalsium, kalium, nitrogen, fosfor dan lain-lain berfungsi untuk pertumbuhan dan perkembangan serangga (Kundungal *et al.*, 2018). Larva *Z. atratus* yang diberi pakan plastik PP dicampur dengan dedak memiliki konsumsi pakan yang lebih tinggi ( $82,1 \pm 2,0\%$ ) dibandingkan larva *Z. atratus* yang hanya diberi pakan plastik PP saja ( $12,1 \pm 4,0\%$ ) (Yang *et al.*, 2020). Pakan dengan protein kedelai atau dedak secara signifikan dapat meningkatkan tingkat degradasi PS

dibandingkan pakan PS saja (Yang *et al.*, 2017). Selain itu, penambahan pakan seperti dedak atau sumber nutrisi lainnya menyebabkan degradasi plastik PE dan PS meningkat (Brandon *et al.*, 2018).

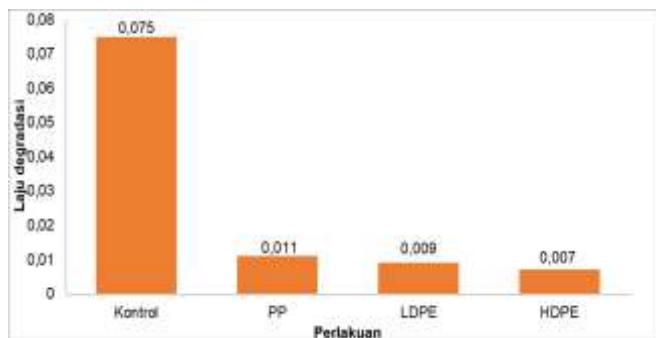
Nilai rerata bobot tubuh *Z. atratus* mengalami penurunan seiring bertambah waktu, namun pada akhir penelitian, nilai rata-rata bobot tubuh mengalami kenaikan (Tabel 1). Penurunan bobot tubuh dapat dipengaruhi oleh fase larva yang memasuki fase pergantian kulit (*molting*) sehingga tingkat konsumsi pakan berkurang dan menyebabkan bobot larva menurun. Larva yang sedang mengalami *molting* umumnya tidak membutuhkan pakan dalam jumlah yang banyak dan bobot larva akan meningkat setelah proses *molting* (Hapsari *et al.*, 2018).

Tabel 1. Rerata bobot *Z. atratus*

Ulangan	Perlakuan			
	Kontrol	PP	HDPE	LDPE
1	0,35	0,41	0,42	0,43
2	0,42	0,40	0,46	0,43
3	0,39	0,43	0,40	0,41
4	0,47	0,45	0,39	0,35
5	0,52	0,43	0,44	0,42

### 3.2. Laju Degradasi

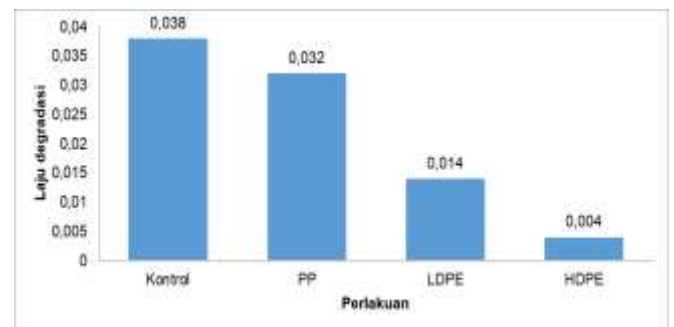
Perhitungan laju degradasi pada *T. molitor* yang didapatkan dari ketiga jenis plastik dan kontrol mendapatkan hasil tertinggi sampai terendah secara berurutan yaitu, kontrol (0,075), PP (0,011), LDPE (0,009), HDPE (0,007) (Gambar 5), dan pada *Z. atratus* menunjukkan rerata tertinggi sampai terendah secara berurutan, yaitu kontrol (0,038), PP (0,032), LDPE (0,014), dan HDPE (0,004) (Gambar 6).



Gambar 5. Laju degradasi *T. molitor* pada kontrol dan tiga jenis plastik

Perlakuan kontrol memiliki nilai tertinggi karena pakan dedak merupakan pakan yang biasa diberikan pada saat pemeliharaan. *Tenebrio molitor* biasanya memakan protein kedelai atau dedak, begitu juga untuk *Z. atratus* (Yang *et al.*, 2017). Kemudian dilanjutkan PP, LDPE serta terakhir HDPE. Hal ini dapat terjadi karena nilai densitas suatu plastik. Semakin kecil densitas suatu plastik, maka semakin tinggi laju degradasinya, begitu pula sebaliknya. Konsumsi plastik PS oleh larva *T. molitor* lebih dipengaruhi oleh densitas material plastik dibandingkan dengan berat molekul plastik (Yang *et al.*, 2017). Densitas berkaitan dengan kekerasan produk sehingga memiliki kemungkinan besar dapat mempengaruhi sejauh mana plastik tersebut dapat dicerna oleh *T. molitor*. Hal ini juga berlaku pada *Z. atratus*, bahwa semakin kecil densitas

suatu plastik maka semakin mudah untuk dicerna. Nilai densitas plastik PP sebesar 0,90–0,92 g/cm<sup>3</sup>, LDPE 0,912–0,925 gr/cm<sup>3</sup>, dan HDPE 0,94–0,965 gr/cm<sup>3</sup> (Muharrami, 2013; Khavilla, 2019).



Gambar 6. Laju degradasi *Z. atratus* pada kontrol dan tiga jenis plastik

### 3.3. Nilai Indeks Reduksi (Waste Reduction Index)

Selain laju degradasi, dihitung juga nilai WRI. Nilai WRI berbanding lurus dengan nilai reduksi (laju degradasi), jika nilai reduksi tinggi maka nilai WRI juga tinggi (Diener, 2010). Pakan dengan nilai WRI paling tinggi pada *T. molitor* dan *Z. atratus* yaitu pakan kontrol, kemudian PP, LDPE, dan terakhir HDPE (Tabel 1 dan Tabel 2). Namun, nilai WRI berbanding terbalik dengan nilai residu. Semakin rendah nilai residu, maka nilai WRI akan semakin tinggi.

Tabel 2. Nilai indeks reduksi (WRI) sampah *T. molitor*

Pakan	Reduksi (g)	Residu (g)	Durasi (hari)	WRI
Kontrol	0,075	0,59		2,51
PP	0,011	0,95	Per 3 hari	0,36
HDPE	0,007	0,97	dalam 30 hari	0,22
LDPE	0,009	0,98		0,29

Nilai WRI yang tinggi memberi makna kemampuan larva dalam mereduksi pakan yang tinggi (Hakim *et al.*, 2017). Perlakuan kontrol memiliki nilai WRI tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Tingginya WRI pada pakan dedak dikarenakan pakan dedak merupakan pakan yang telah diberikan dari awal pemeliharaan. Pemeliharaan ulat hongkong pada peternak pakan burung biasanya diberi pakan berupa dedak (Yang *et al.*, 2017). Akan tetapi berbeda dengan WRI pada masing-masing plastik perlakuan. Hal ini dapat terjadi karena berbedanya nilai densitas suatu plastik. Semakin kecil densitas suatu plastik maka semakin tinggi laju degradasinya. Hal ini berkaitan dengan kepadatan jenis plastik yang memungkinkan larva dapat lebih mudah mencernanya. Konsumsi plastik PS oleh larva *T. molitor* lebih dipengaruhi oleh densitas material plastik dibandingkan dengan berat molekul (Yang *et al.*, 2017).

Tabel 3. Nilai indeks reduksi (WRI) sampah *Z. atratus*

Reaktor	Reduksi (g)	Residu (g)	Durasi (hari)	WRI
Kontrol	0,038	0,83		1,26
PP	0,032	0,83	Per 3 hari	1,08
HDPE	0,004	0,98	dalam 30	0,12
LDPE	0,014	0,92	hari	0,46

Densitas terkait dengan kekerasan produk sehingga memiliki kemungkinan besar mempengaruhi sejauh mana plastik tersebut dapat dicerna oleh larva. Hal ini juga berlaku pada *Z. atratus*, bahwa densitas suatu plastik menentukan seberapa cepat plastik tersebut dapat dicerna. Berdasarkan penelitian tersebut, nilai WRI optimal pada larva *T. molitor* yaitu pada pakan kontrol, sedangkan pada larva *Z. atratus* yaitu pada pakan kontrol dan plastik PP. Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3, nilai WRI pada *Z. atratus* lebih tinggi dibandingkan *T. molitor*. Hal ini dikarenakan ukuran larva *Z. atratus* tujuh kali lebih besar menyebabkan tingkat konsumsi pakan lebih tinggi. Kemampuan konsumsi larva *Z. atratus* lebih besar daripada *T. molitor* (Peng *et al.*, 2020). Hal ini berkaitan dengan ukuran larva *Z. atratus* yang lebih besar dan kebiasaan makan di alam yang agresif (Peng *et al.*, 2020).

Tabel 4. Jumlah larva hidup pada kontrol hari ke-30

Jenis Pakan	<i>Z. atratus</i>	<i>T. molitor</i>
Kontrol	41	46
PP	44	40
HDPE	46	43
LDPE	47	36

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Panjang larva *T. molitor* yang didapatkan dari ketiga jenis plastik dan kontrol mendapatkan rerata panjang tertinggi yaitu HDPE (1,83 cm) dan terendah LDPE (1,41 cm), sedangkan pengukuran bobot tubuh menunjukkan rerata bobot yang seragam (0,07 gram). Pengukuran panjang larva *Z. atratus* mendapatkan rerata panjang tubuh larva tertinggi pada LDPE (3,70 cm) dan terendah pada kontrol (3,46 cm), sedangkan penambahan bobot mendapatkan rerata berkisar antara 0,41–0,43 gram.
- b. Perhitungan laju degradasi pada *T. molitor* yang tertinggi sampai terendah secara berurutan yaitu, kontrol (0,075), PP (0,011), LDPE (0,009), HDPE (0,007), sedangkan pada *Z. atratus* yaitu kontrol (0,038), PP (0,032), LDPE (0,014), dan HDPE (0,004).
- c. Perlakuan pakan dengan nilai WRI paling tinggi pada *T. molitor* dan *Z. atratus* yaitu pakan kontrol, kemudian PP, LDPE, dan terakhir HDPE.

#### PERSANTUNAN

Kami berterimakasih kepada Kepala Laboratorium Riset, Program Studi Biologi, Universitas Ahmad Dahlan, yang telah bersedia memberikan fasilitas berupa ruang laboratorium sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

#### DAFTAR PUSTAKA

Astuti, A. D. (2016). Penerapan kantong plastik berbayar dengan upaya mereduksi penggunaan kantong plastik, *Jurnal Litbang*, 12(1), 32-40.

Bauerfeind, S. S. & Fischer, K. (2005). Effect of food stress and density in different life stages on reproduction in a butterfly, *OIKOS*, 111(3), 514-524.

Brandon, A. M., Gao, S. H., Tian, R., Ning, D. L., Yang, S. S., Zhou, J. Z., Wu, W. M., & Criddle, C. S. (2018). Biodegradation of polyethylene in mealworms (larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus): depolymerization, mineralization, and effects on the gut microbiome,, *Environ. Sci. Technol.*, 52, 6526-6533.

Connat JL, Delbecque JP, Glitho I, Delachambre J. (1991). The onset of metamorphosis in *Tenebrio molitor* larvae (Insecta, Coleoptera) under grouped, isolated and starved conditions. *J Insect Physiol* 37(9), 653-662. [https://doi.org/10.1016/0022-1910\(91\)90042-X](https://doi.org/10.1016/0022-1910(91)90042-X).

Diener. (2010). Valorisation of organic solid waste using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, in low and middle-income countries. Swiss: ETH Zurich.

Fadhilah, F. R. & Shovitri, M. (2014). Potensi isolat bakteri *Bacillus* dalam mendegradasi plastik dengan Metode Kolom Winogradsky, *Jurnal Teknik Pomits*, 3(2), 40-43.

Feyereisen R. (1985). Regulation of juvenile hormone titer: synthesis. In *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology* (Eds Kerkut GA and Gilbert LI) Vol 7, pp. 391-429. Pergamon Press, Oxford.

Hakim, A. R., Prasetya, A., Petrus, & Himawan, T. B. M. (2017). Studi laju umpan pada proses biokonversi limbah pengolahan tuna menggunakan larva *Hermetia illucens*, *JPB Kelautan dan Perikanan*, 12(2), 179-192.

Hapsari, D. G. P. L., Fuah, A. M., & Endrawati, Y. C. (2018). Produktivitas ulat hongkong (*Tenebrio molitor*) pada media pakan yang berbeda, *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*, 6(2), 53-59.

Kamsiati, E., Herawati, H., & Purwani, E. Y. (2017). Potensi pengembangan plastik biodegradable berbasis pati sagu dan ubi kayu di Indonesia, *Jurnal Litbang Pertanian*, 36(2), 67-76.

Khavilla, V. P., Wahyuni, S., Riyanto, A. F., Jumaeri, & Harjono. (2019). Preparasi dan karakterisasi PP (*Polypropylene*) termodifikasi LLDPE (Linear Low-Density Polyethylene) dengan teknik pencampuran biasa, *Indonesian Journal of Chemical Science*, 8(3), 176-184.

Kim, S. Y., Kim, H. G., Song, S.H., & Kim, N. J. (2015). Developmental characteristics of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae in different instars, *Int. J. Indust. Entomol*, 30(2), 45-49.

Klepka, T., Debski, H., & Rydarowski, H. (2009). Characteristics of *High-Density Polyethylene* and its properties simulation with use of finite element method, *Polimery-Warsaw*, 54(9), 668-672.

Kundungal, H., Mnjari, G., Saran, S., Arunkumar, P. & Suja, P. D. (2018). Efficient biodegradation of polyethylene (HDPE) waste by the plastic-eating lesser waxworm (*Achroia grisella*), *Environmental Science and Pollution Research*, 26: 18509-18519.

Manullang, D. V. C., Nukmal, N. & Umar, S. (2018). Kemampuan berbagai tingkatan stadium larva kumbang *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera:

- Tenebrionidae) dalam mengkonsumsi styrofoam (polystyrene), *Jurnal Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati*, 4(2), 37-42.
- Morales-Ramos, J. A. & Rojas, M. G. (2015). Effect of larval density on food utilization efficiency of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Journal of Economic Entomology*, 108(5): 2259-2267.
- Morris, R. J., Owen, T. L., & Charles, J. (2005). Apparent competition and insect community structure: toward a spatial perspective, *Ann. Zool. Fennici*, 42, 449-462.
- Muharrami, L. K. (2013). Uji karakterisasi tarik dan termal plastik HDPE dengan filter abu layang dan silane, *Jurnal Rekayasa*, 6(2), 82-88.
- Pani, S., Sukarja, H. & Sigit, Y. (2017). Pembuatan Biofuel dengan proses pirolisis berbahan baku plastik Low Density Polyethylene (LDPE) pada suhu 250 °C dan 300 °C, *Jurnal ENGINE*, 1(1), 32-38.
- Park, J. B., Choi, W. H., Kim, S. H., Jin, H. J., Han, Y. S., Lee, Y. S. & Kim, N. J. (2014). Developmental characteristics of *Tenebrio molitor* larvae (Coleoptera: Tenebrionidae) in different instars, *Int. J. Indust. Entomol*, 28(1), 5-9.
- Peng, B., Li, Y., Chen, Z., Brandon, A. M., Criddle, C. S. Zhang, Y., & Wu, W. (2020). Biodegradation of Low-Density Polyethylene and polystyrene in superworms, larvae of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae): broad and limited extent depolymerization. *Environmental Pollution*, 266(Pt1):115206. DOI: 10.1016/j.envpol.2020.115206.
- Purnamasari, D. K., Erwan, Syamsuhaidi, Woryawan, K. G., & Nurmaya. (2018). Growth and survival rate of larvae *Tenebrio molitor* provided by different feed media, *Jurnal Peternakan Sriwijaya*, 7(2), 17-23.
- Rahman, Z. B. S. A. A., Hamidi, E. A. Z., & Kamelia, L. (2018). Sistem pengaturan suhu pada kandang ulat jerman menggunakan Arduino Uno, *SENER*, 103-109.
- Sari, G. L. (2017). Kajian potensi pemanfaatan sampah plastik menjadi bahan bakar cair, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(1), 6-13.
- Sari, S. A., Yeni e, E., & Muria, S. R. (2019). Pengaruh komposisi nutrisi terhadap laju biodegradasi styrofoam menggunakan ulat hongkong (larva *Tenebrio molitor*), *JOM FTEKNIK*, 6(2).
- Sehnal F. (1985). Growth and life cycles. In *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology* (Eds Kerkut GA and Gilbert LI) Vol 2, pp. 1-86. Pergamon Press, Oxford.
- Sriningsih, A. & Shovitri, M. (2015). Potensi isolat bakteri *Pseudomonas* sebagai pendegradasi plastik, *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 4(2), 67-70.
- Susrama, I. G. K. (2017). Kebutuhan nutrisi dan substansi dalam pakan buatan serangga, *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 6(30), 310-318.
- Tschinkel, W. R. (1981). Larval dispersal and cannibalism in a natural population of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae), *Animal Behavior*, 29, 990-996.
- Wahyudi, J., Prayitno, H. T. & Astuti, A. D. (2018). Pemanfaatan limbah plastik sebagai bahan baku pembuatan bahan bakar alternatif, *Jurnal Litbang*, 14(1), 58-67.
- Wang, Y. C., Shu, K. Z., Xiu, B. R., & Jianya, S. (2014). Effects of dietary additives in artificial diets on survival and larval development of *Cnaphalocrocis medinalis* (Lepidoptera: Noctuidae), *Frontiers in Zoo*, 7(11), 2-8.
- Wizna & Muis, H. (2012). Pemberian dedak padi yang difermentasi dengan *Bacillus amyloliquefaciens* sebagai pengganti ransum komersil ayam ras petelur, *Jurnal Peternakan Indonesia*, 14(2), 398-403.
- Yang, S., Anja, M. B., James, C. A. F., Jun, Y., Ning, D., Shn, Y. C., Han, Q. F., Zhi, Y. W., Jie, R., Eric, B., Nan-Qi, R., Robert, M. W., Jizhoung, Z., Craig, S. C., & Wei, M. W. (2017). Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms (larvae of *Tenebrio molitor*), *Chemosphere J*, 10(117), DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.10.117.
- Yang, S. S., Ding, M., He, L., Zhang, Q. L., Xing, D., Cao, G., Zhao, L., Ding, J., Ren, N., & Wu, W. (2020). Biodegradation of *Polypropylene* by yellow mealworms (*Tenebrio molitor*) and superworms (*Zophobas atratus*) via gutmicrobe-dependent depolymerization, *Science of The Total Environment*, 756. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144087>.