

## **BAB II. ANALISIS KEMAMPUAN DAN KELANGSUNGAN HIDUP SERANGGA *ALPHITOBIOUS DIAPERINUS* SEBAGAI BIODEGRADATOR SAMPAH PLASTIK**

**Priyantini Widiyaningrum\*, Dyah Rini Indriyanti,  
Sri Ngabekti, M.L. Abdillah, V.R. Labibah, Suwarti<sup>1</sup>**  
Program Studi Biologi, Universitas Negeri Semarang  
wiwiedeka@mail.unnes.ac.id

### **ABSTRAK**

*Styrofoam* termasuk jenis plastik berbahan dasar *polystyrene*, yang dalam kehidupan sehari-hari banyak digunakan sebagai pengemas makanan. Adapun *spons* adalah produk kategori plastik berbahan *polyurethane*. Kedua jenis sampah anorganik ini tidak dapat terdegradasi secara alami. Beberapa serangga dari anggota familia Tenebrionidae termasuk *Alphitobius diaperinus*, dapat mendegradasi plastik jenis *polystyrene* sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai biodegradator sampah plastik. Namun demikian penambahan sampah plastik dalam pakannya dapat mempengaruhi siklus hidup dan kemampuan metamorfosisnya. Bahasan berupa analisis kemampuan ulat kandang dalam mendegradasi sampah *styrofoam* dan *spons* serta menganalisis pengaruhnya terhadap kemampuan metamorfosis. Larva dipelihara menggunakan lima macam media perlakuan yaitu perlakuan kontrol berupa pakan biasa, penambahan sampah *Styrofoam*, penambahan sampah *spons*; dan hanya *styrofoam* saja, hanya *spons* saja. Pada waktu pemeliharaan yang sama, penyusutan limbah *styrofoam* akibat degradasi larva *A. diaperinus* lebih tinggi dibanding penyusutan *spons*, tetapi akibat penambahan sampah *styrofoam* dan *spons* tidak mempengaruhi konsumsi pakan larva. Perbedaan perlakuan sampah berpengaruh terhadap kelangsungan hidup, laju perubahan larva menjadi imago dan kemampuan metamorfosis larva *A. diaperinus*. Secara keseluruhan penambahan *styrofoam* dan *spons* dalam pakan tidak mengganggu

aktivitas makan larva, kelangsungan hidup dan kemampuan metamorfosis, tetapi larva mampu mendegradasi *styrofoam* lebih baik dibanding spons. Hasil ini memperkuat dugaan bahwa larva *A. diaperinus* berpotensi dimanfaatkan sebagai biodegradator sampah plastik khususnya *styrofoam*, sehingga berpeluang membantu mengatasi permasalahan lingkungan.

**Kata kunci:** *Alphitobius diaperinus*, Biodegradator, Sampah plastik, Spons, *Styrofoam*

## PENDAHULUAN

*Alphitobius diaperinus* merupakan serangga anggota familia *Tenebrionidae* (ordo: Coleoptera) yang hidup dan berkembangbiak di area peternakan ayam dengan mengkonsumsi pakan dan serasah ayam sebagai sumber nutrisinya. Selain di kandang ayam, spesies *A. diaperinus* ditemukan di berbagai gudang penyimpanan biji-bijian produk pasca panen sehingga dikenal juga sebagai hama gudang. Secara ekonomi, serangga ini sangat merugikan bagi peternak unggas di hampir seluruh dunia. Perkembangbiakannya sangat cepat dan sulit dikendalikan, apalagi jika didukung suhu dan kelembaban lingkungan yang sesuai.

Perkembangan dari telur hingga imago diselesaikan dalam waktu sekitar 42 hari, sementara imago dapat bertahan hidup antara 3–12 bulan dengan kemampuan bertelur hingga 2000 butir. Selain memakan dan merusak kualitas pakan ayam, kutu kandang merupakan vektor patogen berbagai macam virus, bakteri, dan parasit pada unggas dan zoonosis. Kutu dewasa dan larvanya mampu merusak bangunan kandang karena kemampuannya menggerogoti dinding dan langit-langit bangunan berbahan kayu, untuk meletakkan telur dan persembunyian larva saat pupasi.

Serangga dari familia *Tenebrionidae* mampu mendegradasi plastik jenis *polystyrene* karena memiliki tipe mulut pengunyah, rahang yang kuat dan aktivitas mikroorganisme simbiosis di saluran pencernaannya. Mikroba simbiosis seperti bakteri, protozoa dan fungi hidup dan berkembangbiak di saluran pencernaan serangga, bersinergi dalam mencerna makanan. Serangga ini mampu

menelan selulosa, tetapi di dalam pencernaannya tidak memiliki enzim selulase untuk mencerna polisakarida. Proses pencernaan selulosa dilakukan oleh bakteri dan protozoa simbion yang hidup pada saluran pencernaan serangga inang. Di sisi lain, komunitas bakteri dan jamur dalam usus larva diduga melakukan aktivitas simbiosis dalam metabolisme pakan sehingga menimbulkan efek sinergis yang saling menguntungkan. Berbagai macam mikroba simbion dalam usus inilah yang ditengarai berperan utama berkaitan dengan kemampuannya mencerna sampah plastik *polistyrena*.

*Styrofoam* merupakan salah satu jenis plastik berbahan dasar *polistyrene*, yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari sebagai pengemas makanan. Di kalangan industri elektronika, *styrofoam* digunakan sebagai bahan *packing* barang-barang elektronik seperti televisi, komputer, kulkas, mesin cuci, *rice cooker*, dan lain-lain.

*Styrofoam* masih terus menjadi persoalan lingkungan yang sulit teratasi karena merupakan produk sekali pakai yang memiliki tingkat daur ulang rendah. *Styrofoam* tersusun dari polimer-polimer yang berasal dari bahan kimia aditif yang dapat bermigrasi ke makanan di dalamnya, serta berbahaya bagi manusia karena bersifat karsinogenik.

Sampai saat ini belum ditemukan metode ramah lingkungan untuk menanggulangi sampah *styrofoam*, selain bergantung pada peningkatan kesadaran masyarakat supaya bijak mengurangi penggunaan (*reduce*) atau menerapkan penggunaan berulang (*reuse*). Sampah bekas kemasan selain *styrofoam* yang akan diuji degradasinya adalah *spons* atau busa pelapis.

*Spons* adalah produk berbahan *polyurethane* dan merupakan jenis plastik dalam kategori plastik yang paling banyak. Struktur produk *Polyurethane* memiliki kerapatan yang rendah dan tidak berbahaya, namun karakteristik *polyurethane* membuatnya tahan terhadap degradasi mikroba. Seperti halnya *styrofoam*, sampah *spons* tidak dapat terdegradasi secara alami.

Permasalahannya, meskipun telah terbukti larva *A. diaperinus* mampu mendegradasi sampah *styrofoam*, tetapi belum

diketahui sejauh mana sampah *styrofoam* dan *spons* berpengaruh terhadap kelangsungan hidup dan kemampuan metamorfosis *A. diaperinus* yang dipelihara dengan media sampah tersebut. Jika pemberian *styrofoam* dalam pakan tidak mengganggu kelangsungan hidup dan kemampuan metamorfosis *A. diaperinus*, maka potensinya sebagai biodegradator dapat sejalan dengan usaha budidaya dalam rangka penyediaan protein hewani alternatif bagi ternak.

### **PENGUJIAN PERILAKU LARVA *A. DIAPERINUS* TERHADAP PAKAN BERCAMPUR *STYROFOAM* ATAU *SPONS***

Perlakuan disusun dengan formulasi media pemeliharaan sebagai berikut.

P0 = kontrol positif (media sekam+ pakan konsentrat+ air)

P1 = perlakuan pakan konsentrat+sampah *styrofoam*+ air

P2 = perlakuan pakan konsentrat+sampah *spons*+ air

P3 = kontrol negatif 1 (sekam+sampah *styrofoam*+ air)

P4 = kontrol negatif 2 (sekam+sampah *spons*+ air)

Lama pemeliharaan berlangsung kurang lebih 6 minggu dengan asumsi siklus hidup larva hingga bermetamorfosis menjadi kutu secara normal memakan waktu 42 hari. Variabel yang diukur meliputi: penyusutan bobot sampah (*styrofoam* dan *spons*), total konsumsi pakan, laju perubahan larva menjadi imago dan kemampuan metamorfosis dalam % larva yang berhasil menjadi imago.

Sebanyak 25 unit cup plastik plastik ukuran 10x10x7 cm digunakan untuk perlakuan pemeliharaan larva. Penutup wadah digunakan kain kasa. Setiap wadah diisi dengan 2 g sekam kering yang sudah disterilkan, ditambah 25 g pakan ayam konsentrat yang sudah dihaluskan dengan *blender*, serta potongan mentimun yang sudah dihilangkan bijinya. Kedalam masing-masing wadah kemudian dimasukkan 100 ekor larva hasil pembiakan. Seluruh wadah dibagi kedalam lima kelompok yaitu P0, P1, P2, P3, P4. *Styrofoam* dan *spons* pelapis dipotong dalam bentuk lembaran dengan ukuran 5x10 cm.

Suhu dan kelembaban ruangan percobaan dicatat pagi dan sore hari. Setiap 2 hari sekali unit percobaan diamati untuk mengganti potongan mentimun yang mungkin berkurang atau membusuk.

Jumlah larva hidup dan jumlah kutu yang muncul di tiap wadah dihitung seminggu sekali. Pengamatan dilakukan sekitar 6 minggu, dimana semua larva yang dipelihara sudah tidak ada lagi/bermetamorfosis. Berat *styrofoam* dan *spons* pelapis ditimbang.

### **KEMAMPUAN LARVA *A. DIAPERINUS* DALAM MENDEGRADASI SAMPAH**

Kemampuan larva *A. diaperinus* dalam mendegradasi sampah *styrofoam* dan *spons* terhadap kemampuan metamorfosis dan hasil analisis proksimat larva telah dilakukan. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi dan analisis data:

#### 1. Penyusutan Sampah

Penyusutan limbah *styrofoam* dan *spons* selama 3 minggu pengamatan, diukur berdasarkan selisih bobot awal dan bobot akhir. Data penyusutan limbah *styrofoam* dan *spons* yang dihasilkan dapat ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Rata-rata penyusutan bobot limbah *styrofoam* dan *spons* yang diuji selama 3 minggu.

Ulangan	Perlakuan (%)			
	P1	P2	P3	P4
1	5,71	4,02	1,80	1,04
2	6,82	3,08	1,00	1,54
3	8,26	2,34	2,91	1,62
4	6,86	3,62	1,46	1,74
5	8,74	2,40	2,88	0,93
6	7,82	3,08	1,59	1,85
Rerata	7.37 <sup>a</sup> +1.113	3.09 <sup>b</sup> +0.661	1.94 <sup>c</sup> +0.785	1.45 <sup>c</sup> +0.283

Larva yang dipelihara dalam media pakan dan limbah *styrofoam* selama 3 minggu mengalami penyusutan paling tinggi sebesar 7.37%, sedangkan terendah pada kelompok yang diberi

*spons* saja (1.45%). bagaimana *styrofoam* dan *spons* terdegradasi oleh larva ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Hasil profil terdegradasi oleh larva *A. diaperinus* (A) *styrofoam* dan (B) *spons*

Berdasarkan uji normalitas dan homogenitas diketahui data penyusutan limbah terdistribusi normal dan homogen, sehingga data dapat diuji lanjut statistik Anova. Hasilnya memperlihatkan bahwa perbedaan perlakuan berpengaruh nyata terhadap penyusutan limbah *styrofoam* dan *spons*. Penyusutan limbah *styrofoam* (P1) berbeda nyata dengan ketiga perlakuan yang lain ( $p < 0.05$ ), dan hanya perlakuan P3 dan P4 yang tidak menunjukkan perbedaan ( $p > 0.05$ ). Penyusutan *styrofoam* lebih tinggi diduga karena tekstur *styrofoam* lebih rapat dan lunak dibanding *spons* yang lebih liat dan berongga-rongga. Selain itu *styrofoam* tergolong termoplastik yang mempunyai sifat isolasi sangat baik.

Perilaku larva *A. diaperinus* dalam mencari tempat tersembunyi dengan cara mendegradasi benda-benda juga mengindikasikan bahwa serangga tipe pengunyah selalu memanfaatkan rahangnya untuk mengunyah material apapun yang ditemukan untuk mendapatkan ruang sesuai ukuran tubuh. Kelompok Tenebrionidae memiliki tipe mulut pengunyah dengan mandibula yang memungkinkannya untuk mengunyah dan menelan polimer. Studi yang dilakukan dengan menggunakan spesies *A. diaperinus*, juga menyimpulkan bahwa kutu ini mendegradasi dan menelan *styrofoam*. Hasil analisis komparatif dari mikrobiome usus serangga ini telah berhasil menemukan keragaman mikroba yang lebih tinggi dan melimpah keberadaannya pada larva yang diberi *styrofoam* dibanding

kelompok kontrol, sehingga hal ini memberikan indikasi awal bahwa mikroba terlibat dalam proses degradasi.

Berbeda dengan *styrofoam*, tekstur *spons* lebih banyak rongga, menyebabkan aktivitas larva dalam menggerogoti *spons* untuk membuat tempat isolasi saat pupasi jadi berkurang. Larva *A. diaperinus* adalah serangga nokturnal yang beradaptasi dengan baik di serasah, pupuk kandang dan kandang ayam. Di peternakan ayam, *A. diaperinus* memakan kotoran, pakan tumpah, telur retak, dan bangkai unggas, serta melewati siklus hidup kurang lebih 40 hingga 100 hari.

Referensi makanannya, *A. diaperinus* termasuk omnifora dan dalam persebarannya telah ditemukan sebanyak 89 komoditas berbeda sebagai sumber makanannya, antara lain makanan hewani misalnya tepung daging, tepung ikan, ikan kering, kulit dan tulang hewan, sedangkan makanan nabati berupa produk yang disimpan, terutama biji-bijian contohnya gandum, jagung dan beras serta komoditas *amylaceous*. *A. diaperinus* menjadi hama peternakan unggas dan telah beradaptasi dengan baik pada sistem dan lingkungan kandang unggas yang hangat dan lembab. Baik larva maupun dewasa *A. diaperinus* dilaporkan berasosiasi dengan mikroba patogen pada permukaan eksternal tubuh dan di saluran pencernaan.

Larva *A. diaperinus* juga merupakan serangga pengunyah yang bersimbiosis mutualisme dengan mikroba saluran pencernaan dalam mencerna serat. Proses pencernaan limbah yang pertama terjadi secara mekanis oleh mandibula pada larva *A. diaperinus* kemudian secara kimiawi terjadi pada usus dengan bantuan mikroba yang mampu mencerna selulosa menjadi molekul yang lebih kecil sehingga dapat dicerna untuk digunakan sebagai energi bagi larva *A. diaperinus*. Sekelompok larva *A. diaperinus* mengunyah dan menelan *styrofoam* sebagai sumber energi untuk dapat bertahan hidup selama 4 hingga 5 minggu. Oleh karena itu larva akan lebih aktif mengunyah jika tersedia limbah berserat untuk mempertahankan kehidupan dan perkembangan mikroba usus.

Larva *A. diaperinus* yang tidak diberi pakan hanya diberi limbah saja tetap melakukan degradasi serat tetapi berpotensi terjadi kanibalisme. Perlakuan yang hanya diberi sekam pada masa pemeliharannya. Kondisi ini menyebabkan laju degradasi menjadi lebih rendah dan jumlah limbah yang terdegradasi menjadi sedikit. Hal tersebut didukung dengan kemampuan metamorfosis yang menunjukkan bahwa larva yang hanya diberi sekam mempunyai kemampuan metamorfosis yang rendah dibandingkan dengan larva yang ditambahkan pakan.

Larva *A. diaperinus* dapat mendegradasi *spons* tetapi tidak sebesar *styrofoam*, hal tersebut disebabkan karena perbedaan komposisi kimia yang signifikan serta makrostruktur dan propertinya yang berbeda. Serangga uji *Tenebrio molitor* menyebutkan bahwa serangga golongan Tenebrionidae lebih mudah menggigit dan mengunyah limbah yang bersifat kaku dan rapuh dibandingkan dengan limbah yang bersifat fleksibel dan lunak. Hal tersebut didukung oleh fakta hasil pengamatan bahwa larva dan pupa ditemukan pada rongga *spons* tidak sebanyak yang ditemukan pada *styrofoam*.

## 2. Penyusutan Pakan

Data penyusutan pakan diukur berdasarkan selisih bobot awal pada saat pemberian pakan dikurangi bobot akhir saat semua larva telah bermetamorfosis menjadi pupa. Data konsumsi pakan yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Rata-rata konsumsi pakan larva *A. diaperinus* pada 4 perlakuan berbeda selama 3 minggu.

Perlakuan	Ulangan (g/100 ekor/3 mgg)					Rata-rata (g/100ekor/ 3mgg)
	1	2	3	4	5	
P0	24,23	23,26	19,91	23,38	16,95	21,55
P1	23,33	22,22	24,56	28,88	27,07	25,21
P2	22,46	21,28	24,94	21,59	22,62	22,58

Hasil uji normalitas dan homogenitas terhadap data penyusutan pakan diketahui bahwa data terdistribusi normal dan homogen, sehingga data memenuhi syarat untuk dianalisis statistik

Anova. Selanjutnya hasil analisis statistik Anova menunjukkan bahwa perbedaan pemberian limbah ternyata tidak berpengaruh terhadap konsumsi pakan ( $\text{Sig} > 0,05$ ). Hal ini berarti penyusutan pakan yang terjadi pada perlakuan P0, P1 dan P2 secara statistik tidak menunjukkan perbedaan. Pemberian limbah *styrofoam* dan *spons* tampaknya tidak mempengaruhi kemampuan makan larva, meski ada kecenderungan perlakuan P1 dan P2 tercatat konsumsi pakan sedikit lebih tinggi dibanding perlakuan kontrol. Perilaku mendegradasi limbah *styrofoam* dan *spons* diduga menyebabkan larva meningkatkan kebutuhan energi dalam proses pencernaannya, sehingga konsumsi pakan meningkat. Selain itu kelompok P1 yang mendegradasi *styrofoam* diduga memacu peningkatan populasi dan keragaman mikroba di dalam ususnya sehingga larva yang diberi *styrofoam* dalam sarangnya memiliki keragaman mikroba yang lebih tinggi di dalam ususnya, dibandingkan dengan kelompok larva yang hanya diberi pakan.

Proses pencernaan limbah yang pertama terjadi secara mekanis oleh mandibula pada larva *A. diaperinus* kemudian secara kimiawi terjadi pada usus dengan bantuan mikroba yang mampu mencerna selulosa menjadi molekul yang lebih kecil sehingga dapat dicerna untuk digunakan sebagai energi bagi larva *A. diaperinus*. Proses pencernaan *styrofoam* oleh mikroba simbiosis pada hewan uji *T. molitor* diawali dengan *styrofoam* dikunyah menjadi fragmen kecil dan tertelan ke dalam usus; mengunyah dapat mengurangi ukuran limbah dan meningkatkan kemampuan saluran pencernaan dalam memecah fragmen sampah *styrofoam* maupun *spons* dengan mikroba dan enzim ekstraseluler. Fragmen yang tertelan bercampur dengan mikrobiota usus yang mengeluarkan enzim ekstraseluler untuk mengkatalisasi depolimerisasi fragmen menjadi produk mikro molekul. Limbah sebagian besar terdegradasi atau termineralisasi menjadi  $\text{CO}_2$  oleh beberapa mikroba fungsional, dan karbon yang terbatas dari produk diasimilasi lebih lanjut menjadi biomassa. Sisa *styrofoam* dan zat lainnya yang tidak dapat dicerna dikeluarkan bersama kotoran larva.

Mikroba simbiosis juga dapat mendorong reasimilasi  $\text{NH}_3$  dan nitrogen atmosfer yang secara tidak langsung mendukung kelangsungan hidup serangga di lingkungan yang kekurangan nitrogen. Pengamatan ini menunjukkan bahwa ketersediaan nitrogen dan air pada habitat yang kekurangan unsur hara merupakan faktor pembatas yang dapat menimbulkan kanibalisme. Larva yang diberi limbah *styrofoam* dan ditambah pakan komersial dapat mendegradasi limbah dengan jumlah yang lebih tinggi.

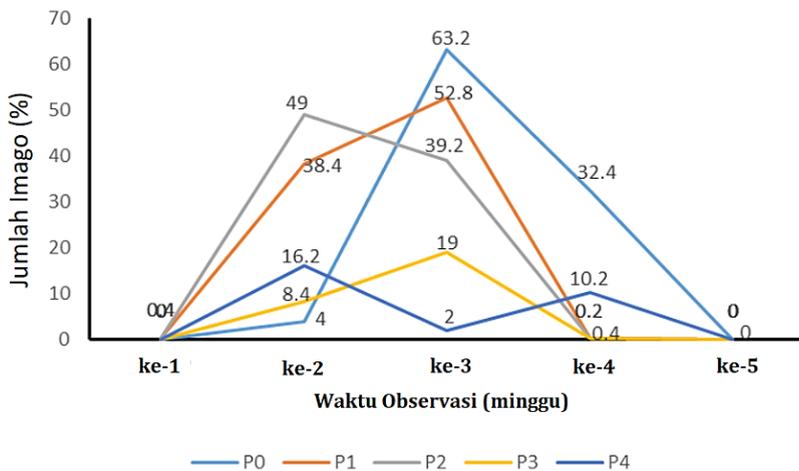
*T. molitor* menyimpan energi dalam bentuk lipida dan karbohidrat untuk menjaga metabolisme. Konsumsi *styrofoam* dapat meningkatkan nilai gizi larva dengan cara menurunkan lemak dan karbohidrat serta meningkatkan kandungan protein. Peningkatan kandungan protein merupakan hasil penghematan energi sebagai bentuk adaptasi terhadap kondisi yang sulit dan tidak tersedia makanan. Selain itu, larva yang mengonsumsi *styrofoam* dapat memberikan energi yang signifikan dan dapat digunakan sebagai energi pengganti pada masa pemeliharaan selama satu bulan. Kandungan protein dan karbohidrat pada larva yang ditambahkan limbah *styrofoam* lebih tinggi, sehingga dapat dikatakan bahwa *styrofoam* berkontribusi dalam penambahan energi bagi larva.

### 3. Laju Metamorfosis

Rata-rata laju perubahan larva menjadi imago kutu kandang yang diberi perlakuan penambahan *styrofoam* dan spons digambarkan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Jumlah imago yang ditemukan pada setiap pengamatan pada tujuh kelompok perlakuan, dengan rentang pengamatan selama 6 minggu, larva yang digunakan pada awal perlakuan berusia 7-10 hari. Hasil pengamatan minggu kedua belum ditemukan imago, tetapi sebagian besar larva sudah menjadi pupa yang ditandai dengan jumlah larva aktif tinggal sedikit. Pada minggu ketiga pengamatan, tidak ada lagi larva yang terlihat tetapi di setiap wadah/perlakuan mulai ditemukan imago dengan jumlah yang bervariasi. Pada minggu ke-3, kelompok P2 memperlihatkan

jumlah imago terbanyak sebesar 49%, dan berturut-turut diikuti P1, P4, P3 dan P0. Sebaliknya pada minggu ke-4, Imago terbanyak ditemukan pada kelompok P0 sebesar 63,2%, diikuti P1, P2, P3, dan P4, kemudian pada minggu ke-5, imago sudah tidak ditemukan pada kelompok P1, P2, dan P3, sementara pada P0 masih ditemukan sebanyak 32,4%. Demikian pula P4 masih ditemukan imago dalam jumlah lebih rendah yaitu 10,2%.

Berdasarkan hal ini, maka larva yang mendapatkan perlakuan pakan dengan penambahan *styrofoam*, dan *spons* terindikasi mengalami waktu metamorfosis lebih cepat dibanding perlakuan kontrol. Hal ini diduga karena secara naluri larva instar akhir akan mencari tempat yang sesuai untuk melakukan pupasi, sehingga ketersediaan ketiga bahan tersebut menjadi tempat yang dapat difungsikan sebagai tempat berlindung/persembunyian selama pupasi. Sebelum menjadi kepompong, larva instar akhir akan mencari tempat yang terpisah dari larva lain serta kutu dewasa, berpencar dan sering kali mencari substrat yang dapat di lubangi untuk bersembunyi.



Gambar 2.2. Grafik laju perubahan larva menjadi imago

Larva *A. diaperinus* juga tergolong serangga pengunyah dengan perilakunya yang senang membuat lubang atau

terowongan dengan cara menggerogoti benda-benda yang ada, terutama saat memasuki tahapan pupasi. Spesies dari famili Tenebrionidae lainnya, yaitu *T. molitor* diketahui mampu merusak dan membuat lubang pada kemasan makanan berbahan *polyetilene* serta *polyurethane*, kemampuan untuk mengunyah benda-benda plastik adalah akibat dari adanya rahang yang tajam. Keberadaan benda-benda ini diduga merangsang perilaku larva untuk membuat lubang persembunyian, dan mempercepat durasi antar instar. Pada perlakuan P0, tidak tersedia bahan yang dapat digunakan sebagai pelindung, kecuali penutup wadah kain kasa warna hitam. Secara keseluruhan, rata-rata laju perubahan larva menjadi imago masih dalam batas normal yaitu berkisar antara 4-6 minggu. Siklus hidup rata-rata *A. diaperinus* membutuhkan waktu antara 30-80 hari pada kisaran suhu antara 21-35°C.

Pada minggu kedua, ditemukan masing-masing 49% dan 38.4% pada perlakuan P1 dan P2 sehingga kedua perlakuan tersebut mengindikasikan mengalami proses metamorphosis lebih awal dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Siklus hidup *A. diaperinus* dari fase telur hingga dewasa membutuhkan waktu antara 34 dan 38 hari pada suhu optimal 30°C serta waktu perkembangan antar instar larva sangat tergantung pada suhu lingkungan, dari 10 hari antar instar pada suhu 20°C hingga 2 hari antar instar pada suhu 30°C.

Catatan suhu berkisar antara 23°C–28°C dipagi hari dan 26°C–31°C di siang hari dengan kelembapan antara 65-98% dipagi hari dan 63-94% disiang hari. Kisaran suhu dan kelembapan tersebut tergolong normal dan sangat sesuai suhu metamorfosis pada umumnya. Jika kelembapan relatif mencapai lebih dari 90%, maka larva *A. diaperinus* memiliki kemampuan untuk mengekstraksi uap air dari udara.

Perbedaan waktu terjadinya puncak metamorfosis ini dapat disebabkan oleh perbedaan pemberian jenis pakan yang diberikan, kelompok P2 dan P4 memiliki kesamaan jenis pakan yang diberikan yaitu *spons*, tekstur dari *spons* yang lembut, tidak keras, dan memberikan sifat hangat dapat menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan metamorfosis *A. diaperinus*.

Telah ditunjukkan bahwa pertumbuhan *A. diaperinus* akan melambat pada suhu yang lebih rendah dan sebaliknya, akan lebih cepat pada suhu yang lebih tinggi, serta memiliki pertumbuhan optimum pada suhu mendekati 31°C. Perilaku larva *A. diaperinus* yang selalu menggerogoti bahan apa saja, termasuk keberadaan bahan seperti *styrofoam*, *fiberglass*, dan panel insulasi *polystyrene* yang secara naluri mencari tempat pupasi yang terisolasi di dalam bahan terlindung.

#### 4. Kemampuan Metamorfosis

Tabel 2.3. menunjukkan data rata-rata persentase larva yang berubah menjadi imago, pada 5 perlakuan. Pada pengamatan ini, persentase larva yang berhasil menjadi imago digunakan sebagai indikator kemampuan metamorfosis serangga *A. diaperinus*.

Tabel 2.3. Data Persentase Larva yang Menjadi Imago (%)

Perlakuan	Ulangan					Rata-rata (%)
	1	2	3	4	5	
P0	100	100	98	100	100	99,6
P1	100	86	73	100	100	91,8
P2	93	72	89	100	90	88,8
P3	21	29	29	32	28	27,8
P4	35	29	24	29	25	28,4

Berdasarkan hasil uji normalitas dan homogenitas, ternyata data tidak terdistribusi normal dan tidak homogen. Dengan demikian data dianalisis menggunakan statistik non-parametrik Kruskal Wallis. Nilai  $asympt.sig < 0,05$  diinterpretasikan terdapat perbedaan yang signifikan antara perlakuan-perlakuan yang diberikan, sehingga untuk mengetahui perlakuan mana yang berbeda, dilakukan post-hoc test yang sesuai, yaitu uji Mann-Whitney U seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Perbedaan nyata terlihat antara perlakuan P0 dengan perlakuan yang lain, akan tetapi antara P0 dan P1 tidak menunjukkan perbedaan. Perbedaan juga terlihat antara P1, P3, dan P4. Pada perlakuan P0, persentase metamorfosis mencapai 99,6% dan ini secara statistik tidak

berbeda nyata dibanding P1. Artinya pemberian *styrofoam* pada P1 tidak mempengaruhi kemampuan metamorfosis. *Styrofoam* yang berupa lembaran justru menjadi tempat yang sesuai bagi larva instar akhir untuk mengisolasi dirinya saat pupasi.

Tabel 2.4. Hasil analisis uji Mann-Whitney U

No	Perlakuan	P-Value	Interpretasi
1	P0-P1	0,368 > 0,05	ns
2	P0-P2	0,034 < 0,05	*
3	P0- (P3, P4)	0,007 < 0,05	*
4	P1-P2	0,518 > 0,05	ns
5	P1-(P3, P4)	0,008 < 0,05	*
8	P3-P4	0,914 > 0,05	ns

Ket: (\*) signifikan; ns = non signifikan

*Styrofoam* yang didegradasi dan masuk ke saluran pencernaan serangga terbukti meningkatkan populasi mikroba usus dan hal ini justru menguntungkan karena kelompok mikroba usus memanfaatkan molekul *styrofoam* dalam proses metabolismenya. Di sisi lain, mikroba usus yang melimpah dapat berkontribusi sebagai sumber protein bagi *A. diaperinus*. Bakteri *Pseudomonadaceae* dan *Enterobacteriaceae* diketahui dapat mendegradasi *polystyrene*. Aktivitas mikroba di dalam usus *T. molitor* mampu memineralisasi *polystyrene* menjadi CO<sub>2</sub> dalam kurun waktu kurang dari 12-15 jam. Hasil identifikasi bakteri *Brevundimonas*, *Microbacterium*, *Pseudomonas*, *Sphingobacterium*, dan *Streptococcus* pada saluran pencernaan *Zophobas morio* memiliki kelimpahan relatif lebih tinggi pada kelompok *polystyrene* dibandingkan dengan kelompok lainnya. Banyaknya bakteri dan mikroba simbiotik usus terbukti mampu merangsang pertumbuhan serangga dan produksi telur dengan memodulasi ekspresi gen hexamerin dan vitellogenin.

Persentase metamorfosis yang terdapat pada perlakuan P2, P3, P4, berbeda nyata dan lebih rendah dibanding P0, mengindikasikan bahwa penambahan *spons* tanpa diberi pakan dalam pemeliharaan berpengaruh negatif terhadap kemampuan metamorfosis. Di sisi lain, kelompok perlakuan tanpa pakan tetap

bertahan hidup diduga karena melimpahnya mikroorganisme dalam saluran pencernaan *A. diaperinus* yang bersimbiosis sehingga dapat membantu *A. diaperinus* bertahan hidup. Usus serangga berkontribusi pada berbagai aspek kesehatan inang, termasuk pencernaan, detoksifikasi, perkembangan, resistensi patogen, dan fisiologi. Mikrobiota usus serangga menjadi bagian penting untuk membantu serangga bertahan hidup dalam kondisi lingkungan yang ekstrem. Selama pengamatan tetap mendapatkan mentimun sebagai sumber air. Hal yang sama terjadi pada larva *Tenebrio molitor*, yang dapat bertahan hidup tanpa makanan untuk jangka waktu yang lama, tetapi membutuhkan air untuk bertahan hidup. Selain itu, serangga uji dari spesies *Zophobas atratus* dipelihara selama 28 hari dan berhasil bertahan hidup dengan hanya memakan *styrofoam* sebagai satu-satunya sumber makanan.

*Styrofoam* termasuk golongan sampah plastik yang bertekstur ringan, padat tidak berongga tetapi mudah digerogeti. *Styrofoam* memiliki tekstur yang ringan dan padat, namun tidak berongga paling sering ditemukan sebagai tempat makanan serta minuman sekali pakai. Kelompok serangga familia Tenebrionidae diketahui menyukai sampah *styrofoam* sebagai salah satu tempat berlindung selama masa pupasi karena mudah digerogeti dan masuk kedalamnya untuk pupasi. *T. molitor* salah satu anggota familia Tenebrionidae diidentifikasi mencari perlindungan selama masa kepompong, *styrofoam* menjadi salah satu media tempat bersembunyi selama pupasi.

Familia Tenebrionidae, termasuk *A. diaperinus* mempunyai perilaku sama dalam siklus hidupnya, yaitu *A. diaperinus* memiliki perilaku kehidupan nokturnal. Naluri alaminya mendorong untuk selalu berperilaku berlindung dan mencari tempat yang aman dengan membuat lorong-lorong di benda-benda yang dapat digerogeti. Dalam upaya untuk melindungi diri dan mendapatkan perlindungan dari faktor-faktor luar serta untuk mendapatkan suhu yang optimal, *A. diaperinus* akan menggali lorong-lorong di berbagai benda yang dapat diserang, seperti *styrofoam*, atau bahan isolasi di sekitar kandang. Meskipun tidak sebanyak jumlah massa *styrofoam* yang didegradasi, namun penyusutan yang terjadi

mengindikasikan bahwa larva secara aktif mendegradasi bahan-bahan apapun yang ada di sekitarnya terutama bahan yang banyak mengandung unsur karbon.

*A. diaperinus* diketahui hidup bersimbiosis dengan mikroorganisme yang hidup di dalam saluran pencernaannya seperti serangga pengunyah pada umumnya. keragaman dan kemampuan beradaptasi yang tinggi dari serangga sangat terkait dengan mikroba simbiotik pada masing-masing serangga, yang meliputi bakteri, jamur, virus, protozoa, dan archaea. Mikroba-mikroba ini memainkan peran penting dalam banyak aspek biologi dan fisiologi serangga, seperti membantu serangga inang dalam pencernaan makanan, penyerapan nutrisi, memperkuat kekebalan tubuh, dan menghadapi pertahanan tanaman, hubungan simbiosis melibatkan pertukaran nutrisi dan molekul bermanfaat lainnya antara serangga inang dan mitra mikroba.

Serangga telah mengembangkan hubungan simbiosis yang kompleks dengan mikroorganisme, termasuk bakteri, yang berada di dalam usus mereka. Mikroorganisme ini dapat memecah polimer kompleks, seperti selulosa dan kitin, menjadi molekul-molekul yang lebih kecil yang dapat diserap oleh inang serangga. Dalam kasus *A. diaperinus*, mikrobiota usus mungkin juga terlibat dalam biodegradasi *polystyrene*, yang merupakan jenis plastik. Simbiosis terjadi karena serangga mampu mengunyah bahan-bahan mengandung karbon atau selulosa dan masuk kedalam saluran pencernaannya.

Hasil uji Mann-Whitney U menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok P1 dan P2. Hal ini menunjukkan bahwa penggantian atau penambahan *styrofoam* serta *spons* pada pakan *A. diaperinus* tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan serangga ini untuk bertahan hidup. Meskipun perlakuan tersebut berbeda nyata jika dibandingkan dengan kelompok P0 (kontrol), Hal ini menunjukkan bahwa *A. diaperinus* tetap mampu bertahan hidup.

Mikrobioma usus *Zophobas morio* yang dipelihara pada *polystyrene* diperkaya dengan bakteri dapat mendegradasi *polystyrene*. Larva *Tenebrio molitor* dapat mengurai *styrofoam*

dalam waktu retensi kurang dari 24 jam. Selain mendegradasi, larva serangga *A. diaperinus* juga memanfaatkan limbah *styrofoam* sebagai media untuk melakukan pupasi. Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa *A. diaperinus* memiliki tingkat adaptasi yang tinggi terhadap perubahan dalam kondisi pakan, sehingga *A. diaperinus* tetap melewati setiap fase metamorfosis serta mendegradasi limbah sampah yang diberikan.

## **PENUTUP**

Penyusutan sampah *styrofoam* akibat degradasi larva *A. diaperinus* lebih tinggi dibanding penyusutan *spons*, namun tidak mempengaruhi konsumsi pakan larva. Perbedaan perlakuan sampah berpengaruh terhadap kelangsungan hidup, laju perubahan larva menjadi imago dan kemampuan metamorfosis larva *A. diaperinus*. Penambahan *styrofoam* dan *spons* dalam pakan tidak mengganggu perilaku makan larva, kelangsungan hidup dan kemampuan metamorfosis, tetapi larva dapat mendegradasi *styrofoam* lebih baik dibanding *spons*. Hasil ini memperkuat dugaan bahwa larva *A. diaperinus* berpotensi dimanfaatkan sebagai biodegradator sampah plastik khususnya *styrofoam* dan *spons*, sehingga berpeluang membantu mengatasi permasalahan lingkungan.

## **UCAPAN TERIMAKASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Negeri Semarang yang telah membantu mendanai penelitian melalui Dana DIPA LPPM UNNES Tahun 2023 Nomor 10.12.4/UN37/ PPK.10/2023.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Al Mukminah, I. (2019). Bahaya Wadah Styrofoam dan Alternatif Penggantinya. *Farmasetika.Com (Online)*, 4(2), 32–34.
- Hassemer, M.J., Lopes, R.B., Borges, M., F A Alves, L., Withall, D.M., Pickett, J. A., & Laumann, R.A., Birkett, M.A., Blassioli-Moraes, M. C. (2020). Development of an attract-and-infect device for biological control of lesser mealworm,

- Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) in poultry houses. *Biological Control*.
- Bjørge, J. D., Overgaard, J., Malte, H., Gianotten, N., & Heckmann, L. H. (2018). Role of temperature on growth and metabolic rate in the tenebrionid beetles *Alphitobius diaperinus* and *Tenebrio molitor*. *Journal of Insect Physiology*, 107(February), 89–96.
- Bulak, P., Proc, K., Pytlak, A., Puszka, A., Gawdzik, B., & Bieganowski, A. (2021). Biodegradation of different types of plastics by *Tenebrio molitor* insect. *Polymers*, 13(20).
- Cucini, C., Leo, C., Vitale, M., Frati, F., Carapelli, A., & Nardi, F. (2020). Bacterial and fungal diversity in the gut of polystyrene-fed *Alphitobius diaperinus* (Insecta: Coleoptera). *Animal Gene*, 17–18(October), 200109.
- Del Valle, E. E., Frizzo, L. S., Malmierca, M., Zbrun, M. V., Lax, P., & Doucet, M. E. (2016). Biological control of *Alphitobius diaperinus* with *Steinernema rarum* CUL and *Heterorhabditis bacteriophora* SMC and feasibility of application in rice hull. *Journal of Pest Science*, 89(1), 161–170.
- Dunford, J. C., & Kaufman, P. E. (2006). Lesser Mealworm, Litter Beetle, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Insecta: Coleoptera: Tenebrionidae). *Edis*, 2006, 1–12.
- Errico, S., Spagnoletta, A., Verardi, A., Moliterni, S., Dimatteo, S., & Sangiorgio, P. (2022). *Tenebrio molitor* as a source of interesting natural compounds, their recovery processes, biological effects, and safety aspects. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(1), 148–197.
- Esquivel, J. F., Crippen, T. L., & Ward, L. A. (2012). Improved visualization of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae)-Part I: Morphological features for sex determination of multiple stadia. *Psyche (London)*, 2012.
- Gajendiran, A., Krishnamoorthy, S., & Abraham, J. (2016). Microbial degradation of low-density polyethylene (LDPE) by *Aspergillus clavatus* strain JASK1 isolated from landfill soil.

3 *Biotech*, 6(1), 1–6.

- Gupta, A., & Nair, S. (2020). Dynamics of Insect–Microbiome Interaction Influence Host and Microbial Symbiont. *Frontiers in Microbiology*, 11(June).
- Hassan, M. W., Gulraize, Ali, U., Rehman, F. U., Najeed, H., Sohail, M., Irsa, B., Muzaffar, Z., & Chaudhry, M. S. (2016). Evaluation of Standard Loose Plastic Packaging for the Management of *Rhyzopertha Dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) and *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Insect Science*, 16(1).
- Hicks K.A. (2017). Population Assay of *Tenebrio molitor* Growth and Development Analysis Instars: *Journal of Student Research*, <https://doi.org/10.1111/jst.12111>.
- Jing, T. Z., Qi, F. H., & Wang, Z. Y. (2020). Most dominant roles of insect gut bacteria: Digestion, detoxification, or essential nutrient provision? *Microbiome*, 8(1), 1–20.
- Krueger, M. C., Harms, H., & Schlosser, D. (2015). Prospects for microbiological solutions to environmental pollution with plastics. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99(21), 8857–8874.
- Lee, S., Choi, Y. S., Jo, K., Kim, T. K., Yong, H. I., & Jung, S. (2020). Quality characteristics and protein digestibility of *Protaetia brevitarsis* larvae. *Journal of Animal Science and Technology*, 62(5), 741–752.
- Lyons, B. N. (2021). Lesser mealworm (*Alphitobius diaperinus*) association with *Enterococcus cecorum* and pest management considerations for this pest in broiler houses. Oklahoma State University.
- Lyons, B. N., Crippen, T. L., Zheng, L., Teel, P. D., Swiger, S. L., & Tomberlin, J. K. (2017). Susceptibility of *Alphitobius diaperinus* in Texas to permethrin- and  $\beta$ -cyfluthrin-treated surfaces. *Pest Management Science*, 73(3), 562–567.
- Machona, O., Chidzondo, F., & Mangoyi, R. (2022). *Tenebrio molitor*: possible source of polystyrene-degrading bacteria. *BMC Biotechnology*, 22(1), 1–12.
- Matyja, K., Rybak, J., Hanus-Lorenz, B., Wróbel, M., & Rutkowski, R.

- (2020). Effects of polystyrene diet on *Tenebrio molitor* larval growth, development and survival: Dynamic Energy Budget (DEB) model analysis. *Environmental Pollution*, 264.
- Miller, A., Mohazzebi, S., Pasewark, S., & Fagan, J. M. (2019). *Styrofoam: More Harmful than Helpful*.
- Nguyen, N., Yang, B.-K., Lee, J.-S., Yoon, J.-U., & Hong, K.-J. (2019). Infestation status of the darkling beetle (*Alphitobius diaperinus*) in broiler chicken houses of Korea. *Korean Journal of Applied Entomology*, 58(3), 2287–2545.
- Peng, L., Fu, D., Qi, H., Lan, C. Q., Yu, H., & Ge, C. (2020). Micro- and nano-plastics in marine environment: Source, distribution and threats — A review. *Science of the Total Environment*, 698, 134254.
- Plastics. (2017). *Plastics, The Facts 2017: An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data 2017*. Brussels: Plastics Europe.
- Przemieniecki, S. W., Kosewska, A., Ciesielski, S., & Kosewska, O. (2020). Changes in the gut microbiome and enzymatic profile of *Tenebrio molitor* larvae biodegrading cellulose, polyethylene and polystyrene waste. *Environmental Pollution*, 256, 113265.
- Rumbos, C. I., Karapanagiotidis, I. T., Mente, E., & Athanassiou, C. G. (2019). The lesser mealworm *Alphitobius diaperinus*: a noxious pest or a promising nutrient source? *Reviews in Aquaculture*, 11(4), 1418–1437.
- Salamah, S., & Maryudi, M. (2018). Proses Pirolisis Limbah Styrofoam Menggunakan Katalis Silika-Alumina. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 13(1), 1–7.
- Sammarco, B. C., Hinkle, N. C., & Crossley, M. S. (2023). Biology and Management of Lesser Mealworm *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) in Broiler Houses. *Journal of Integrated Pest Management*, 14(1).
- Schawaller, W., & Grimm, R. (2014). The genus *Alphitobius stephens* (Coleoptera, Tenebrionidae, Alphitobiini) in Africa and adjacent Islands. *ZooKeys*, 190(415 SPEC. ISSUE), 169–190.
- Smith, R., Hauck, R., Macklin, K., Price, S., Dormitorio, T., & Wang, C.

- (2022). A review of the lesser mealworm beetle (*Alphitobius diaperinus*) as a reservoir for poultry bacterial pathogens and antimicrobial resistance. *World's Poultry Science Journal*, 78(1), 197–214.
- Sumarni, N. K., Sosidi, H., Rahman, A. B. D., & Musafira. (2013). Kajian Fisika Kimia Limbah Styrofoam dan Aplikasinya. *Online Journal of Natural Science*, 2(3), 123–131.
- Sun, J., Prabhu, A., Aroney, S. T. N., & Rinke, C. (2022). Insights into plastic biodegradation: Community composition and functional capabilities of the superworm (*Zophobas morio*) microbiome in styrofoam feeding trials. *Microbial Genomics*, 8(6), 1–19.
- TA Farrelly, I. S. (2017). Polystyrene as hazardous household waste. *Household Hazardous Waste Management*, April.
- Wati, C., Rahmawati, R., Hartono, R., Haryati, PW., Riyanto, R., Anggraini, E., Rizkie L, Melani D, Septiarini D, Arsi & Karenina, T.. (2021). Entomologi Pertanian. *Yayasan Kita Menulis*. 230
- Y. Yang, J. Wang, M. X. (2019). Biodegradation and mineralization of polystyrene by plasticating superworms *Zophobas atratus*. *Science of the Total Environment*.
- Yang, H., Tsai, C. C., Jiang, J. S., & Hua, C. C. (2021). Rheological and textural properties of apple pectin-based composite formula with Xanthan gum modification for preparation of thickened matrices with dysphagia-friendly potential. *Polymers*, 13(6), 873.
- Yang, S. S., Brandon, A. M., Xing, D. F., Yang, J., Pang, J. W., Criddle, C. S., Ren, N. Q., & Wu, W. M. (2018). Progresses in Polystyrene Biodegradation and Prospects for Solutions to Plastic Waste Pollution. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 150(1).
- Yang, Y., Wang, J., & Xia, M. (2020). Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating superworms *Zophobas atratus*. *Science of the Total Environment*, 708, 135233.
- Yang, Y., Yang, J., Wu, W. M., Zhao, J., Song, Y., Gao, L., Yang, R., &

- Jiang, L. (2015). Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 1. Chemical and Physical Characterization and Isotopic Tests. *Environmental Science and Technology*, 49(20), 12080–12086.
- Zhao, M., Lin, X., & Guo, X. (2022). The Role of Insect Symbiotic Bacteria in Metabolizing Phytochemicals and Agrochemicals. *Insect*, 13(7).
- Zielińska, E., Zieliński, D., Jakubczyk, A., Karaś, M., Pankiewicz, U., Flasz, B., Dziewięcka, M., & Lewicki, S. (2021). The impact of polystyrene consumption by edible insects *Tenebrio molitor* and *Zophobas morio* on their nutritional value, cytotoxicity, and oxidative stress parameters. *Food Chemistry*, 345 (December 2020).