



Perilaku pemilihan pakan plastik dan respons biologi imago kumbang *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae)

Feeding behavior and biological response of the adult beetle *Tenebrio molitor* L. (Coleoptera: Tenebrionidae) on plastic as feed

Choirul Mahdianto¹, Damayanti Buchori^{1,2}, Endang Sri Ratna^{1*}

¹Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University
Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

²Center for Transdisciplinary and Sustainability Sciences (CTSS), IPB University
Jalan Raya Pajajaran No. 27, Bogor 16128, Indonesia

(diterima April 2022, disetujui November 2022)

ABSTRAK

Kumbang *Tenebrio molitor* L. berpotensi sebagai pengurai plastik. Plastik juga dapat terdegradasi oleh paparan sinar matahari. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perilaku pemilihan pakan dan respon biologis kumbang *T. molitor* yang dipaparkan pada berbagai jenis plastik. Tujuh jenis plastik, yaitu bioplastik (Bio), *expanded styrofoam* (EPS), *oxo-biodegradable* (Oxo), dan ketiga plastik Bio-P, EPS-P dan Oxo-P yang telah dipaparkan pada sinar matahari, serta kontrol berupa campuran *pollard* dan irisan wortel diujikan pada imago kumbang *T. molitor* berumur empat hari. Uji pemilihan pakan metode *choice feeding* dilakukan pada siang dan malam hari dengan melepas 200 dan 300 individu kumbang di tengah cawan petri berdiameter ± 15 cm, bersekat 7 ruangan menjari, yang kemudian diamati pergerakannya hingga 24 jam. Uji respons biologi melalui metode *force feeding* dilakukan dengan melepas 10 kumbang jantan dan betina dalam sebuah cawan petri berisi jenis pakan uji diuraikan di atas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pakan *pollard* paling banyak dikunjungi oleh sekitar 32–39% populasi kumbang. Pada perlakuan pakan tanpa *pollard*, 20% kumbang memilih plastik EPS, EPS-P, dan Bio. Kumbang bertahan hidup 23 dan 40 hari, masing-masing pada pakan Bio dan Bio-P. Produksi telur oleh kumbang yang diberi pakan Bio dan Bio-P adalah 2 dan 3 butir/betina/10 hari. Sekitar 85% pakan *pollard* yang dikonsumsi kumbang berkontribusi terhadap penambahan 5% berat tubuhnya. Sekitar 58–64% pakan Bio, Bio-P, EPS, EPS-P dan 6–12% Oxo, Oxo-P berhasil dikonsumsi kumbang. Penurunan berat tubuh terjadi pada seluruh kumbang yang diberi perlakuan pakan plastik, berkisar antara 13–28%.

Kata kunci: bioplastik, EPS, *oxo-biodegradable*, paparan matahari

ABSTRACT

The beetle *Tenebrio molitor* L. has potential as a plastic decomposer. Plastic can also be degraded by exposure to sunlight. The aim of this research was to determine the feeding behavior and biological responses of *T. molitor* exposed to various type of plastics. Seven types of plastics, namely bioplastics (Bio), expanded styrofoam (EPS), oxo-biodegradable (Oxo), three plastics Bio-P, EPS-P, Oxo-P that had been exposed to sunlight, and controls contained a mixed *pollard*-carrots slices were tested on four days-old of adult *T. molitor*. The choice feeding method was carried out at day and night by releasing 200 and 300 beetles in the middle of a ± 15 cm diameter petri dish divided into 7 radial spaces, and their movement were observed within 24 hours. The forced feeding method for observing biological responses was carried out by releasing 10 male and female beetles in a petri

*Penulis korespondensi: Endang Sri Ratna. Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University
Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia, Tel: 0251-8629364, Faks: 0251-8629362, Email: esratna@apps.ipb.ac.id

dish as described above. The results showed that around 32–39% of the beetle population visited most of the pollard feed. In the feed treatment without pollard, 20% of the beetles chose EPS, EPS-P and Bio. Beetles survived 23 and 40 days on Bio and Bio-P feed, respectively. Egg production by the beetles exposed to the Bio and Bio-P diets was 2 and 3 eggs/female/10 days. Around 85% of pollard feed consumed contributed to 5% of body weight gain. About 58–64% of Bio, Bio-P, EPS, EPS-P and 6–12% Oxo, Oxo-P feeds were successfully consumed. The decrease in its body weight occurred in all plastic feed treatments ranging from 13–28%.

Key words: bioplastic, EPS, oxo-biodegradable, sunlight exposure

PENDAHULUAN

Tenebrio molitor L. (Coleoptera: Tenebrionidae) adalah serangga hama pascapanen yang hidupnya sangat polifag menyerang biji-bijian, dedak, sereal, produk makanan olahan, seperti tepung, roti, kerupuk kering, dan bahan hewani, seperti serangga mati, sisa daging, bulu, dan kotoran dari kandang ayam atau burung (Kröncke & Benning 2022; Rumbos et al. 2021). Serangga ini biasa disebut *mealworm* atau di Indonesia dikenal sebagai ulat hongkong, lebih populer dipelihara sebagai pakan burung dan ikan yang dengan mudah dikembangbiakan, bahkan dijadikan sumber bahan makanan alternatif bagi manusia karena dapat memenuhi nutrisi, seperti kandungan protein, lemak, dan banyak serat (Finke 2002). Ulat hongkong mudah dibudidayakan dengan biaya murah dan usaha minimal (Lazuardi et al. 2020).

Kumbang *T. molitor* dilaporkan mampu mendegradasi bahan kemasan terbuat dari plastik sehingga dipertimbangkan sebagai agensia entomoremediasi (Brandon et al. 2018; Bulak et al. 2021). Larva beserta imago *T. molitor* dilaporkan mampu mencerna bahan plastik berupa sisa-sisa busa polistiren (PS) insulasi bangunan termal, busa jenis poliuretan (PU) spons dapur dan busa insulasi termal komersial, dan busa polietilen (PE) yang digunakan sebagai bahan pengemas, berturut-turut sebesar 46,5%, 41,0%, 53,2%, dan 69,7% dalam waktu 58 hari. Brandon et al. (2018) melaporkan bahwa larva *T. molitor* dapat mekonversi bahan polistiren hingga 49%. Menurut Leluk et al. (2017), bahan plastik isolasi bangunan (EPS) dan kotak kemasan makanan (PS) merupakan komponen yang paling mudah dicerna oleh larva *T. molitor*. Kemampuan larva *T. molitor* mencerna bahan *polystyrene styrofoam* sama baiknya dengan kemampuan makan pada pakan perbanyakannya, yaitu dedak saat dipelihara selama satu bulan (Yang

et al. 2015a). Wu et al. (2019) juga melaporkan bahwa metabolisme bahan PS dan polietilen dengan kepadatan rendah (LDPE) oleh *T. molitor* relatif lebih mudah dibandingkan dengan jenis plastik polivinil klorida (PVC). Menurut Božek et al. (2017), *T. molitor* dapat bertahan hidup pada bahan plastik jenis PS, PVC, dan *polilactide* (PLA atau bioplastik) selama pemeliharaan 3 minggu, namun ketiga bahan plastik tersebut bukan sumber pakan yang efisien sebagai penghasil energi.

Selain larva, imago kumbang *T. molitor* juga diketahui dapat mengkonsumsi kemasan plastik (Riudavets et al. 2007). Abd El-Rehim et al. (2004) melaporkan bahwa degradasi bahan plastik dapat terjadi akibat paparan sinar matahari. Rute rantai reaksi degradasi plastik dan produk yang dihasilkannya bergantung pada jenis reaktan polimer yang terkena radiasi sinar UV (Gewert et al. 2015). Menurut Sa'diyah & Trihadiningrum (2021), bahan plastik LDPE diketahui paling rentan mengalami fotodegradasi. Oleh karena itu, perlakuan gabungan pemaparan bahan plastik pada sinar matahari dan perilaku aktivitas makan kumbang *T. molitor* di atas ditengarai dapat lebih mempermudah peruraian bahan plastik. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui preferensi pakan imago kumbang *T. molitor* terhadap pemberian pakan dari tiga jenis plastik tanpa dan dengan perlakuan paparan sinar matahari, serta implikasi pemberian pakan tersebut terhadap respons biologinya.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilakukan di Laboratorium Pengendalian Hayati, Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University yang dilaksanakan mulai bulan Desember 2019 hingga Oktober 2021.

Rancangan percobaan

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua metode pengujian, yaitu metode pemberian pakan metode dengan pilihan atau *choice feeding* dan metode tanpa pilihan atau *forced feeding* terhadap kumbang *T. molitor*. Metode *choice feeding* diaplikasikan pada pengujian preferensi pakan, sedangkan *forced feeding* diaplikasikan untuk mengamati respons biologi kumbang. Rancangan percobaan yang digunakan pada kedua metode perlakuan di atas adalah rancangan acak lengkap (RAL), meliputi tujuh perlakuan dan empat ulangan. Tujuh perlakuan pakan yang digunakan terdiri atas tiga jenis plastik, yaitu *expanded polystyrene*, plastik *oxo-biodegradable*, bioplastik tanpa dan dengan perlakuan paparan sinar matahari, serta pakan campuran dedak gandum dan wortel sebagai kontrol.

Sediaan kumbang uji *T. molitor*

Kumbang diperoleh dari peternak di Bogor, Jawa Barat pada fase pupa. Pupa kemudian dipelihara hingga menjadi kumbang di dalam wadah berbahan polipropilen (PP) berukuran 15,5 cm × 15,5 cm × 5,5 cm. Untuk mendapatkan kumbang uji yang memiliki umur seragam maka kumbang yang baru muncul dari pupa (eklosi), yaitu memiliki warna sklerit yang masih pucat dikoleksi dan dipisahkan antara kumbang jantan dan betina berdasarkan perbedaan morfologi sternit abdomen kelima sesuai uraian Bhattacharya et al. (1970). Kumbang jantan dan betina masing-masing berjumlah 400 individu dipindahkan ke dalam gelas plastik berdiameter 10 cm dengan tinggi 8 cm berisi pakan campuran dedak dan wortel, kemudian dipelihara lebih lanjut hingga tiga sampai empat hari dan siap digunakan sebagai serangga uji. Menurut Morales-Ramos et al. (2012), kumbang tersebut diduga sudah memiliki kematangan reproduksi yang siap untuk kawin atau berkopolasi.

Persiapan pakan

Tiga jenis plastik *expanded polystyrene* (EPS), plastik *oxo-biodegradable* (Oxo), bioplastik (Bio) digunakan sebagai bahan pakan uji. Plastik EPS produk CV. Guppy Indonesia diperoleh dari toko alat tulis sekitar lokasi penelitian berupa lembaran *styrofoam* dengan ukuran 40 cm × 60 cm × 1,5 cm.

Bahan ini dipotong berbentuk kubus berukuran 1 cm × 1 cm × 1 cm. EPS adalah salah satu produk berbahan stirena (Yang et al. 2015b) yang juga banyak dikenal sebagai bahan dasar dari *styrofoam* (Maryani et al. 2018). Bahan plastik Oxo produk Symphony Environmental dan Bio produk PT. Telobag Natural Indonesia diperoleh melalui pembelian secara daring dalam bentuk kantong plastik. Kedua bahan ini dipotong masing-masing berbentuk persegi empat berukuran 1 cm × 1 cm. Plastik *oxo-biodegradable* terbuat dari polietilen yang telah ditambahkan zat aditif untuk mempercepat fotodegradasi, sedangkan bioplastik terbuat dari PLA (*polylactide acid*) Božek et al. (2017). Bahan pakan perbanyak stok kumbang yang digunakan sebagai pakan kontrol pada percobaan ini digunakan *pollard* berisi campuran dedak gandum dan irisan wortel segar dengan perbandingan 4:1 (g/g) (Broekhoven et al. 2015). Pakan tersebut dibeli dari toko sarana produksi pertanian dan peternakan serta pasar di sekitar lokasi penelitian.

Ketiga jenis pakan plastik di atas masing-masing dijemur atau dipaparkan terhadap sinar matahari selama enam jam mulai pukul 08.30–14.30 WIB pada suhu berkisar 32,4–40,7 °C dan intensitas penyinaran UV sebesar 925,8–3571,5 μW/cm². Suhu dan intensitas UV diukur menggunakan termometer ruangan Onemed dan UV meter Lutron tipe SP-82UV. Pemaparan masing-masing bahan plastik uji diulang setiap hari selama 15 hari sesuai dengan metode yang diuraikan oleh Abd El-Rehim et al. (2004).

Uji preferensi pakan metode *choice feeding*

Pengujian metode *choice feeding* dibagi menjadi dua kelompok. Kelompok pertama menguji aktifitas makan serta preferensi pakan kumbang *T. molitor* yang diamati pada siang dan malam. Kelompok kedua membandingkan preferensi pakan kumbang *T. molitor* yang diberi perlakuan kontrol berupa *pollard* dan tanpa pakan.

Uji preferensi pakan pada kelompok pertama dilakukan dengan melepas 100 individu kumbang jantan maupun betina *T. molitor* berumur 3 hari dipilih secara acak yang telah dilaparkan selama 24 jam di tengah sebuah cawan petri uji berdiameter ± 14 cm. Bagian dalam cawan petri terbagi atas 7 ruangan berukuran sama yang

dipisahkan oleh sekat kertas dengan arah radial, panjang 2 cm dari tepi cawan sehingga membentuk ruangan bebas melingkar dengan garis tengah 3 cm yang digunakan untuk tempat pelapasan kumbang. Setiap ruang sekat diberi 7 pakan perlakuan berbeda seperti yang telah diuraikan di atas. Perlakuan pelepasan kumbang dilakukan pada siang hari (pukul 08.00–11.00 WIB) dan malam hari (pukul 20.00–23.00 WIB) masing-masing diulang 2 kali. Pergerakan kumbang diamati dengan menghitung dan mencatat jumlah kumbang yang berkelompok di ruang destinasi sekat pada empat waktu terpilih 75 detik, 1, 2, dan 3 jam setelah pelepasan, dimodifikasi dari Valentine (1931) dan Nurul & Noor (2019).

Cara pelepasan kumbang yang sama pada pukul 08.00 WIB dilakukan pada kelompok perlakuan kedua. Setiap 30 individu kumbang *T. molitor* dilepas di tengah sebuah cawan petri uji bersekat 7 yang berisi perlakuan 3 pakan plastik utuh, 3 pakan plastik terpapar sinar matahari dan pakan *pollard* sebagai kontrol. Pelepasan jumlah kumbang yang sama dilakukan pada cawan petri yang lain dengan perlakuan yang sama, namun ruangan perlakuan kontrol tanpa diberi *pollard*. Setiap perlakuan diulang 10 kali. Pergerakan kumbang diamati dengan menghitung dan mencatat jumlah kumbang yang berkelompok di ruang destinasi sekat pada enam waktu terpilih 30, 75 detik, 3, 5, 10 menit, dan 24 jam setelah pelepasan dimodifikasi dari Valentine (1931), Suzuki (2011), Reznikova & Dorosheva (2013), dan Nurul & Noor (2019).

Uji respons biologi metode *force feeding*

Setiap 20 kumbang jantan dan betina *T. molitor* perbandingan 1:1 dimasukkan ke dalam sebuah cawan petri yang masing-masing diberi 7 perlakuan pakan terpisah termasuk di dalamnya perlakuan pakan *pollard* sebagai kontrol. Perlakuan tersebut diulang empat kali. Kumbang dipelihara hingga akhir percobaan. Kumbang betina yang bertahan hidup dan kumbang yang mati pada setiap perlakuan pakan diamati setiap hari sampai seluruh kumbang uji mati. Lama hidup (hari) dihitung berdasarkan rata-rata periode kumbang bertahan hidup mulai dilepaskan hingga mati.

Penimbangan berat kumbang dan pakan yang tersisa dilakukan 4 kali, setiap tiga hari sekali

hingga hari ke-12 menggunakan timbangan digital analitik. Perubahan berat diperoleh dengan menghitung selisih rata-rata berat kumbang maupun pakan pada hari pertama hingga hari ke-12.

Perlakuan kemampuan reproduksi kumbang dilakukan dengan memasukkan 10 kumbang jantan dan betina *T. molitor* perbandingan 1:1 ke dalam sebuah cawan petri yang telah diberi pakan terpisah seperti diuraikan di atas. Jumlah telur yang diletakkan diamati di bawah mikroskop binokuler dan rata-ratanya dihitung pada hari ke-10 setelah pelepasan kumbang.

Analisis data

Data untuk setiap hasil percobaan dianalisis menggunakan analisis ragam (ANOVA) pada taraf kepercayaan 95% dengan perlakuan dan ulangan disesuaikan dengan masing-masing rancangan percobaan yang diterapkan di atas. Data rata-rata hasil perlakuan dibedakan menggunakan Uji Tukey pada taraf nyata 5%.

HASIL

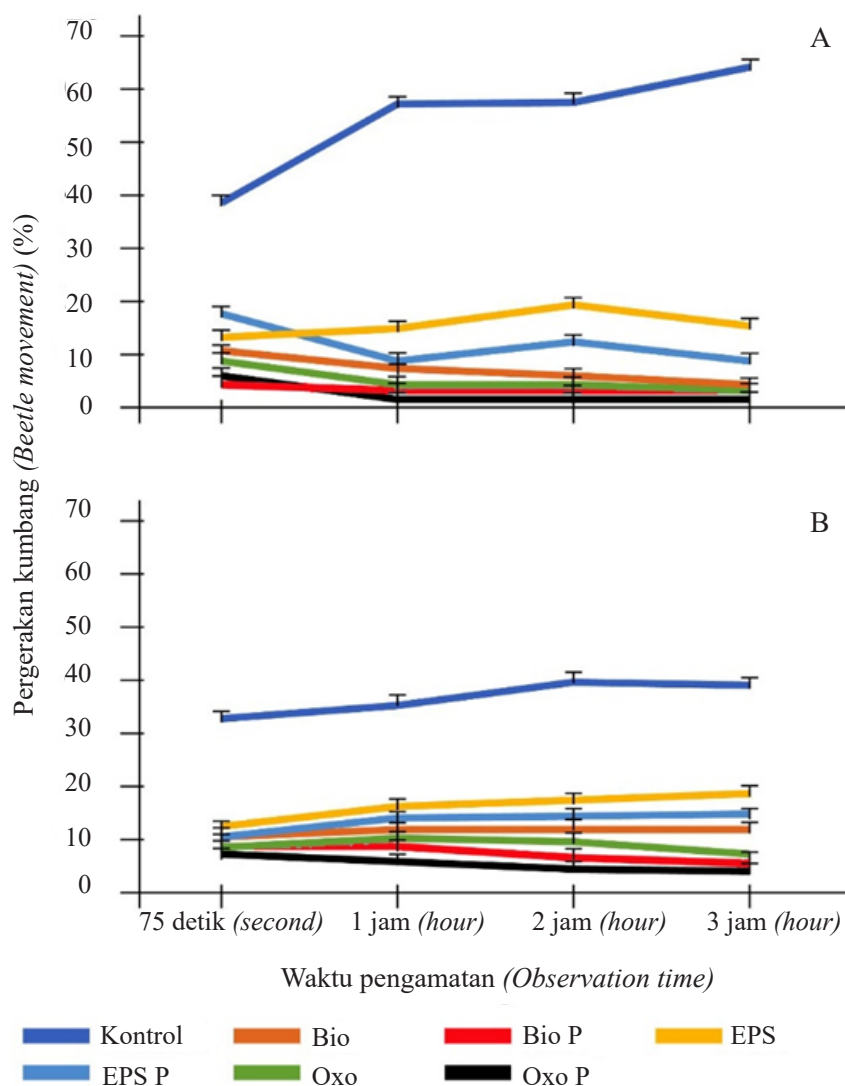
Preferensi pakan plastik oleh kumbang *T. molitor*

Hasil percobaan menunjukkan bahwa kumbang *T. molitor* nyata paling tertarik pada pakan *pollard* dibandingkan dengan pakan plastik utuh (EPS, Oxo, dan Bio) maupun plastik terpapar sinar matahari (EPS-P, Oxo-P, dan Bio-P) (Gambar 1). Kelompok pengujian pertama kumbang yang diberi perlakuan siang hari cenderung berpindah dari satu pakan ke pakan lain. Kumbang perlakuan pelepasan siang hari menunjukkan pergerakan ke arah pakan *pollard* sebesar 39% saat 75 detik setelah pelepasan (DSP) dan 65% bertahan hingga akhir pengamatan, yaitu 3 jam setelah pelepasan (JSP) nyata jauh lebih tinggi dibandingkan dengan keenam perlakuan pakan plastik berturut-turut berkisar 5–18% dan 1–15% (Gambar 1a). Pada pelepasan kumbang di malam hari tampak bahwa ketertarikan pada pakan *pollard* cenderung lebih sedikit (Gambar 1b). Pergerakan kumbang ke arah pakan *pollard* berturut-turut diketahui sebesar 32% saat 75 DSP dan 40% bertahan hingga 3 JSP nyata jauh lebih tinggi dibandingkan dengan keenam perlakuan pakan plastik berturut-turut

berkisar 7–12% dan 5–19%. Hal ini menunjukkan bahwa kumbang *T. molitor* cenderung melakukan aktivitas pada siang hari.

Hasil pengujian kumbang kelompok ke dua menunjukkan bahwa kumbang cenderung berkumpul pada ruang dengan pakan perlakuan kontrol, yaitu *pollard*. Namun, ketika dilakukan pemaparan tanpa ketersediaan pakan *pollard*, maka pergerakan kumbang mengarah ke beberapa pakan terpilih (Gambar 2). Hasil percobaan dengan ketersediaan pakan *pollard* menunjukkan bahwa rata-rata 4 individu kumbang berada di ruang pakan *pollard* pada 30 DSP, selanjutnya

meningkat hingga 17 individu pada 10 MSP, yang kemudian menurun kembali menjadi 5 individu setelah 24 jam setelah pelepasan (JSP) (Gambar 2a). Hasil pengamatan 24 JSP pada kumbang perlakuan tanpa ketersediaan pakan *pollard* ditunjukkan bahwa rata-rata jumlah kumbang nyata tertinggi masing-masing 6 individu berada pada tiga perlakuan pakan EPS, EPS-P dan Bio-P, diikuti 4 individu pada pakan Bio dan jumlah terendah (1 individu) pada pakan Oxo dan Oxo-P (Gambar 2b). Hal ini tampak bahwa pakan plastik EPS paling banyak dikunjungi oleh kumbang *T. molitor* dibandingkan dengan dua perlakuan pakan



Gambar 1. Aktivitas kumbang yang diberi perlakuan tujuh jenis pakan pada siang (A) dan malam (B) hari. Kontrol: campuran *pollard* dan wortel; Bio: Bioplastik; EPS: *expanded polystyrene*; Oxo: *oxo-biodegradable*. Tambahan huruf P: perlakuan penjemuran. Garis vertikal (*bar*) adalah galat rata-rata populasi.

Figure 1. Beetle activity treated with seven types of feed during the day (A) and night (B). Controls: mixed *pollard* and carrot; Bio: Bioplastics; EPS: *expanded polystyrene*; Oxo: *oxo-biodegradable*. Additional letter P: sun exposure treatment. The vertical line (*bar*) is the standard errors of mean.

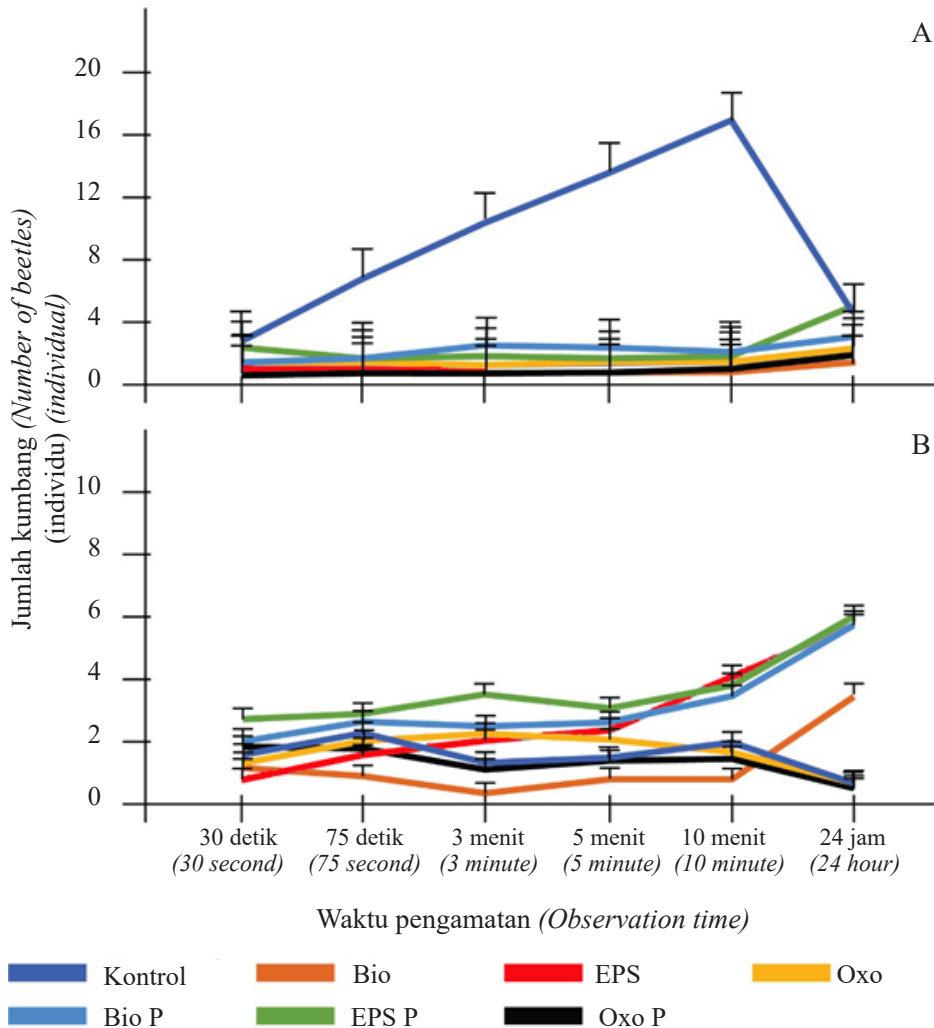
lainnya, sedangkan pemaparan sinar matahari berpeluang membantu ketertarikan kumbang untuk memilih pakan.

Pengaruh pakan terhadap respons biologi kumbang *T. molitor*

Hasil perlakuan pakan terhadap kumbang *T. molitor* menunjukkan bahwa kumbang betina maupun jantan yang diberi pakan *pollard* paling lama bertahan hidup, yaitu berkisar 59–63 hari dibandingkan dengan masing-masing keenam jenis pakan plastik (Tabel 1). Lama hidup kumbang jantan dan betina yang mengkonsumsi bioplastik dengan penjemuran (Bio-P) nyata

paling tinggi, berturut-turut, yaitu 37 dan 40 hari dibandingkan dengan kedua pakan lainnya, yaitu Oxo-P dan paling rendah EPS-P berturut-turut 27–25 hari pada jantan, 30–27 hari pada betina. Sebaliknya, lama hidup kumbang mengkonsumsi tiga jenis plastik tanpa penjemuran Bio, EPS, dan Oxo berturut-turut berkisar 19–25 pada jantan dan 23–29 hari pada betina. Hal ini menunjukkan bahwa kumbang jantan maupun betina *T. molitor* bertahan hidup paling lama pada pakan *pollard* diikuti dengan pakan Bio-P.

Hasil perlakuan pakan plastik diketahui berpengaruh buruk pada produksi telur kumbang *T. molitor*. Produksi telur nyata tertinggi ditemukan



Gambar 2. Tingkat pemilihan kumbang *Tenebrio molitor* terhadap 6 jenis pakan plastik dengan perlakuan kontrol *pollard* (A) dan kontrol tanpa *pollard* (B). Bio: bioplastik; EPS: *expanded polystyrene*; Oxo: *oxo-biodegradable*. Tambahkan huruf P: perlakuan penjemuran. Garis vertikal (*bar*) adalah galat rata-rata populasi.

Figure 2. The number of beetles *Tenebrio molitor* selected on 6 types of plastic feed treated with *pollard* as a control (A) and control without *pollard* (B). Bio: bioplastik; EPS: *expanded polystyrene*; Oxo: *oxo-biodegradable*. Additional letter P: sun exposure treatment. The vertical line (*bar*) is standar error of mean.

pada pakan kontrol *pollard* sebesar 17 butir/betina, diikuti dengan pakan Bio dan Bio-P, berturut-turut 3 dan 2 butir/betina per 10 hari pengamatan pertama (Gambar 3). Sebaliknya kumbang tidak memproduksi telur pada keempat perlakuan pakan plastik lainnya. Hal ini berarti bahwa kumbang dapat mempertahankan keturunannya pada pakan Bio maupun Bio-P, walaupun jumlahnya menurun drastis.

Lama hidup dan kemampuan bereproduksi kumbang *T. molitor* diduga berkaitan dengan besaran pakan yang dikonsumsi yang pada

akhirnya berimplikasi terhadap pengurangan berat tubuhnya. Besaran pakan yang dikonsumsi oleh kumbang dinyatakan dengan penurunan berat pakan yang diamati pada 21 hari setelah perlakuan (Gambar 4). Konsumsi pakan nyata tertinggi tampak terjadi pada *pollard* sebesar 85%, diikuti empat pakan lainnya, Bio, Bio-P, EPS, dan EPS-P berkisar 58–64%, sedangkan konsumsi pakan terendah terdapat pada dua perlakuan pakan, yaitu Oxo dan Oxo-P sebesar 6–12% (Gambar 4a).

Variasi konsumsi pakan diduga berimbas terhadap perubahan berat tubuh kumbang

Tabel 1. Lama hidup kumbang *Tenebrio molitor* yang diberi enam jenis pakan plastik

Table 1. Longevity of beetle, *Tenebrio molitor* fed on six types of plastic feed

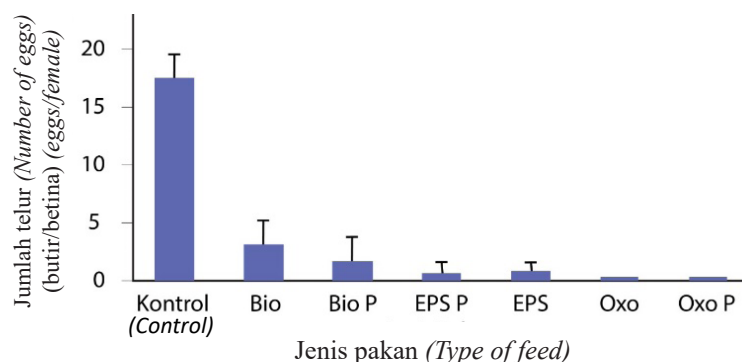
Jenis pakan (Type of feed)	Lama hidup $\bar{X} \pm SE$ (hari/individu)* (Longevity $\bar{X} \pm SE$ (day/individual))	
	Betina (Female)	Jantan (Male)
Kontrol (Control)	58,75 ± 1,89 a	63,00 ± 0,82 a
Bio	22,75 ± 0,63 ef	24,50 ± 1,20 cde
Bio-P	39,50 ± 1,56 b	36,50 ± 2,40 b
EPS	26,25 ± 2,50 def	19,25 ± 2,14 f
EPS-P	26,50 ± 3,30 cde	24,75 ± 1,11 cde
Oxo	28,50 ± 1,85 cd	25,00 ± 3,39 cd
Oxo-P	29,75 ± 1,18 c	27,25 ± 2,18 c

Kontrol: *pollard* dan wortel; Bio: bioplastik; EPS: *expanded polystyrene*; Oxo: *oxo-biodegradable*. Tambahan huruf P: perlakuan penjemuran. $\bar{X} \pm SE$ adalah rata-rata dan galat rata-rata populasi.

*Angka rerata dalam satu kolom yang diikuti huruf yang sama tidak menunjukkan perbedaan yang nyata pada taraf 10% uji Tukey's Studentized Range (HSD test).

(Controls: *mixed pollard and carrot*; Bio: *bioplastic*; EPS: *expanded polystyrene*; Oxo: *oxo-biodegradable*. Additional letter P: *sun exposure treatment*. $\bar{X} \pm SE$ is the mean and standard error of mean.

*The mean value in the same column followed by the same letter did not show a significant difference at the 10% level of the Tukey's studentized range test).



Gambar 3. Rata-rata jumlah telur yang dihasilkan kumbang betina *Tenebrio molitor* dalam periode waktu 10 hari pertama setelah eklosi. Kontrol: campuran *pollard* dan wortel; Bio: bioplastik; EPS: *expanded polystyrene*; Oxo: *oxo-biodegradable*. Tambahan huruf P: perlakuan penjemuran. Garis vertikal (*bar*) adalah galat rata-rata populasi.

Figure 3. The average number of eggs laid by a female of *Tenebrio molitor* in the first 10 days after eclosion. Controls: *mixed pollard and carrot*; Bio: *bioplastic*; EPS: *expanded polystyrene*; Oxo: *oxo-biodegradable*. Additional letter P: *sun exposure treatment*. The vertical line (*bar*) is standard errors of mean.

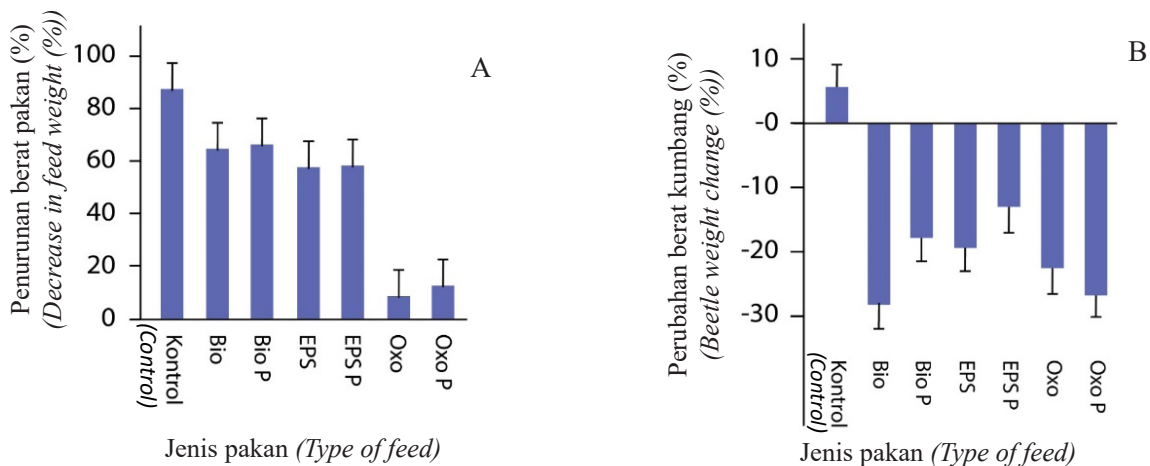
T. molitor. Peningkatan berat tubuh di akhir percobaan sebesar 5% hanya terjadi pada kumbang yang diberi pakan *pollard*, sebaliknya pengurangan berat tubuh ditemukan pada kumbang yang diberi keenam jenis pakan plastik (Gambar 4b). Pengurangan berat tubuh kumbang nyata paling tinggi ditemukan pada pakan Bio, diikuti Oxo-P, Oxo, dan paling rendah pada pakan EPS-P berturut-turut sebesar 28%, 26%, 23%, dan 13%. Implikasi pemberian pakan plastik berpengaruh terhadap penurunan berat tubuh kumbang dan diduga tidak berhubungan dengan banyaknya pakan yang dikonsumsi.

PEMBAHASAN

Dedak gandum atau *pollard* merupakan jenis pakan umum yang digunakan peternak untuk memperbanyak kumbang *T. molitor*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kumbang lebih tertarik pada pakan *pollard* yang mengandung cukup keseimbangan nutrisi untuk kebutuhan hidupnya. Rho & Lee (2015) menyatakan bahwa larva kumbang *T. molitor* mampu melakukan kompensasi pemulihan kekurangan satu nutrisi dengan memilih makanan yang mengandung kelebihan nutrisi lainnya. Kumbang *T. molitor*

dilaporkan sangat bergantung pada diet asupan karbohidrat, sesuai dipelihara pada pakan berbasis biji-bijian, seperti dedak, tepung, ataupun serpihan gandum (Kröncke & Benning 2022). Dengan demikian, kumbang dewasa pada percobaan ini akan beradaptasi dan cenderung memilih pakan yang sebelumnya dikonsumsi saat stadium larva.

Ketertarikan pakan oleh kumbang dewasa merupakan insting upaya untuk mempertahankan hidup keturunannya. EPS diketahui merupakan jenis plastik yang dapat menghasilkan senyawa organik mudah menguap (Kusch & Knupp 2004). Keberadaan senyawa ini diduga dapat menyebabkan kumbang lebih tertarik mendatangi kedua jenis EPS dengan penjemuran maupun tanpa penjemuran. Selain faktor bahan dasar plastik, perlakuan penjemuran melalui paparan sinar UV dapat menurunkan integritas fisik dan meningkatkan degradasi bioplastik (PLA) (Karamanlioglu et al. 2017). Beberapa jenis plastik, seperti PS dan PE diketahui juga mengalami fotodegradasi ketika terpapar UV dari sinar matahari (Gewert et al. 2015). Sumari et al. (2019) menyatakan bahwa radiasi sinar matahari dapat mempercepat degradasi *styrofoam* sehingga strukturnya menjadi retak dan rapuh, serta elastisitas kekuatannya menurun. Hal ini menunjukkan bahwa plastik yang sudah



Gambar 4. Rata-rata data perubahan konsumsi pakan (A) dan berat tubuh (B) kumbang *Tenebrio molitor*. Kontrol: campuran *pollard* dan wortel; Bio: bioplastik; EPS: expanded polystyrene; Oxo: oxo-biodegradable. Tambahan huruf P: perlakuan penjemuran. Garis vertikal (bar) adalah galat rata-rata populasi.

Figure 4. Average value of changes in feed consumption pattern (A) and body weight (B) of *Tenebrio molitor*. Controls: mixed *pollard* and carrot; Bio: bioplastic; EPS: expanded polystyrene; Oxo: oxo-biodegradable. Additional letter P: sun exposure treatment. The vertical line (bar) is the standard errors of mean.

terdegradasi oleh sinar matahari akan lebih memudahkan untuk dipilih kumbang *T. molitor* menjadi sumber pakannya.

Hasil pengamatan pada percobaan ini, kumbang yang dipelihara pada pakan *pollard* menghasilkan rata-rata 17 telur dalam waktu 10 hari. Menurut Morales-Ramos et al. (2012), kumbang betina yang dipelihara pada dedak gandum memiliki potensi reproduksi tertinggi setelah berumur satu minggu dan bertahan hingga tiga minggu, yaitu mencapai 34 telur per minggu. Peningkatan fekunditas betina *T. molitor* dipengaruhi oleh intensitas perkawinan berulang-ulang (poliandri) yang berlangsung hingga 2 bulan (Drnevich et al. 2021). Selain itu, asupan nutrisi tambahan berupa protein yang cukup dapat meningkatkan fekunditas betina (Rho & Lee 2016).

Hasil percobaan menunjukkan bahwa kumbang betina *T. molitor* bertahan hidup pada pakan bioplastik dengan ataupun tanpa penjemuran selama 40 hari dan menghasilkan 1–3 butir telur, sedangkan pada pakan EPS, kumbang hidup lebih pendek, yaitu 27 hari tanpa menghasilkan telur. Berbeda halnya dengan laporan Nukmal et al. (2018) yang menyatakan bahwa kumbang yang diberi pakan EPS mulai stadium larva mampu menghasilkan 29 telur selama masa hidupnya. Menurut Božek et al. (2017), pakan plastik jenis PS, PVC, dan bioplastik bukan sumber pakan yang efisien sebagai penghasil energi bagi kumbang *T. molitor* dan ketiga pakan tersebut hanya digunakan untuk upaya bertahan hidup.

Pada dasarnya ketiga plastik uji merupakan jenis plastik yang mudah terurai dibandingkan dengan plastik konvensional. Bioplastik merupakan komponen rantai molekul asam poli laktat (PLA) yang berasal dari sumber bahan alami ketela pohon. Ketela pohon itu sendiri merupakan pakan yang digunakan untuk perbanyakan *T. molitor* (Nukmal et al. 2018). Božek et al. (2017) menyatakan bahwa larva *T. molitor* yang diberi pakan tunggal PLA diketahui dapat memiliki kandungan protein, karbohidrat, dan lemak yang lebih tinggi dibandingkan dengan larva yang diberi pakan EPS. Menurut Widyaningrum (2022), pakan plastik berbasis *styrofoam* terindikasi menurun akibat dimakan oleh *T. molitor*. Kemampuan kumbang dewasa dalam mencerna bioplastik

maupun EPS pada percobaan ini cenderung sedikit meningkat dibandingkan dengan pencernaan oleh larva seperti diuraikan Brandon et al. (2018), yaitu mencapai 49%. Yang et al. (2015b) juga menyatakan bahwa polistirene *styrofoam* dan dedak merupakan pakan yang sama baiknya dikonsumsi oleh *T. molitor*.

Berat tubuh larva *T. molitor* menunjukkan korelasi positif antara berat pakan ragi yang dikonsumsi yang berisi cukup nutrisi dan bahan pakan *styrofoam* (Rahmawati et al. 2017). Larva kumbang yang diberi pakan ragi memiliki tubuh yang lebih berat dibandingkan dengan larva yang diberi pakan *styrofoam*. Pakan ragi yang dikonsumsi oleh selama stadium instar akhir sebesar 1,08 mg lebih tinggi dibandingkan dengan *styrofoam* 0,81 mg. Symbion bakteri Pseudomonadaceae dan Enterobacteriaceae yang hidup di dalam saluran pencernaan larva *T. molitor* dilaporkan mampu mencerna bahan *styrofoam* dalam waktu 12–15 jam (Yang et al. 2018). Saluran pencernaan *T. molitor* memiliki keanekaragaman mikroba dengan masing-masing enzim yang dihasilkan dilaporkan mampu mencerna substrat plastik jenis *polystyrene* (PS), *polyethylene oxo-degradable* (PE-oxo), butiran *polyetilen* (PE) (Przemieniecki et al. 2020; Hu & Majumder 2021). Keadaan yang berbeda dengan percobaan ini, yaitu serangga dewasa *T. molitor* melakukan aktivitas makan pada *pollard*, Bio, Bio-P, EPS, dan EPS-P, namun terjadi penurunan berat tubuh yang cukup berarti. Hal ini diduga, proses pencernaan pakan pada serangga dewasa tidak efisien seperti yang terjadi pada fase larva. Selain itu, pengurangan berat tubuh kumbang diakibatkan oleh berkurangnya cadangan makanan yang sebelumnya ditimbun di dalam *fat body* selama fase larva. Pada serangga dewasa yang tidak makan akan memanfaatkan cadangan makanan yang ada di dalam badan lemak untuk pertumbuhan alat reproduksi dan nutrisi telur (Monita et al. 2017).

KESIMPULAN

Plastik EPS merupakan pakan yang paling dipilih oleh kumbang *T. molitor*. Plastik yang terpapar sinar matahari meningkatkan ketertarikan

kumbang dalam memilih pakan. Pemberian pakan plastik memperpendek lama hidup kumbang yang hanya mencapai 40 hari. Kumbang yang dipaparkan pada pakan Bio dan Bio-P meletakkan telur sebanyak 2–3 butir/betina. Kumbang yang dipaparkan pada pakan EPS, EPS-P, Oxo, dan Oxo-P tidak mampu memproduksi telur. Kumbang mampu mengkonsumsi pakan Bio, Bio-P, EPS, dan EPS-P sebesar 58–64% dan pakan Oxo dan Oxo-P sebesar 6–12%. Kumbang yang mengkonsumsi plastik tidak mampu mempertahankan berat tubuhnya hingga akhir percobaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Laboratorium Pengendalian Hayati IPB dan Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan Republik Indonesia yang telah menyediakan tempat serta pendanaan untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd El-Rehim HA, Hegazy ESA, Ali AM, Rabie AM. 2004. Synergistic effect of combining UV-sunlight-soil burial treatment on the biodegradation rate of LDPE/starch blends. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 163:547–556. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2004.02.003>.
- Bhattacharya A, Ameel J, Waldbauer G. 1970. A method for sexing living pupal and adult yellow mealworms. *Annals of Entomology Society of America* 63:1783. DOI: <https://doi.org/10.1093/aesa/63.6.1783>.
- Božek M, Hanus-Lorenz B, Rybak J. 2017. The studies on waste biodegradation by *Tenebrio molitor*. *E3S Web of Conferences* 17: 00011. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171700011>.
- Brandon AM, Gao SH, Tian R, Ning D, Yang SS, Zhou J, Wu WM, Criddle CS. 2018. Biodegradation of polyethylene and plastic mixtures in Mealworms (Larvae of *Tenebrio molitor*) and effects on the gut microbiome. *Environmental Science & Technology* 52:6526–6533. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b02301>.
- Broekhoven S van, Oonincx DGAB, van Huis A, van Loon JJA. 2015. Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *Journal of Insect Physiology* 73:1–10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2014.12.005>.
- Bulak P, Proc K, Pytlak A, Puszka A, Gawdzik B, Bieganski A. 2021. Biodegradation of different types of plastics by *Tenebrio molitor* insect. *Polymers* 13:3508. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13203508>.
- Drnevich JM, Papke RS, Rauser CL, Rutowski RL. 2001. Material benefits from multiple mating in female mealworm beetles (*Tenebrio molitor* L.). *Journal of Insect Behavior* 14:215–230. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1007889712054>.
- Finke MD. 2002. Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores. *Zoo Biology* 21:269–285. DOI: <https://doi.org/10.1002/zoo.10031>.
- Gewert B, Plassmann MM, Macleod M. 2015. Pathways for degradation of plastic polymers floating in the marine environment. *Environmental Science: Processes & Impacts* 17:1513–1521. DOI: <https://doi.org/10.1039/C5EM00207A>.
- Hu L, Majumder EL-W. 2021. Potential for and distribution of enzymatic biodegradation of polystyrene by environmental microorganisms. *Materials* 14:3–20. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma14030503>.
- Karamanlioglu M, Preziosi R, Robson GD. 2017. Abiotic and biotic environmental degradation of the bioplastic polymer poly (lactic acid): A review. *Polymer Degradation and Stability* 137:122–130. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2017.01.009>.
- Kröncke N, Benning R. 2022. Self-selection of feeding substrates by *tenebrio molitor* larvae of different ages to determine optimal macronutrient intake and the influence on larval growth and protein content. *Insect* 13:2–13. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects13070657>.
- Kusch P, Knupp G. 2004. Headspace-SPME-GC-MS identification of volatile organic compounds released from expanded polystyrene. *Journal of Polymers and The Environment* 12:83–87. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:JOOE.0000010053.20382.d7>.
- Lazuardi R, Baihaqi A, Fauzi T. 2020. Analisis kelayakan ulat Hongkong (*Tenebrio molitor*) (Studi kasus usaha budidaya ulat hongkong di Kecamatan Indrapuri, Kabupaten Aceh Besar). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa* 5:108–120.
- Leluk K, Hanus-Lorenz B, Rybak J, Božek M. 2017. The effectiveness of the biodegradation of raw

- and processed polystyrene by mealworms. *E3S Web Conferences* 22:1–8. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172200103>.
- Maryani Y, Kanani N, Rusdi R. 2018. Pembuatan lem lateks dari limbah *styrofoam* yang digunakan untuk kemasan makanan. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi* 12:189–200. DOI: <https://doi.org/10.36055/tjst.v14i2.5873>.
- Monita L, Sutjahjo SH, Amin AA, Fahmi MR. 2017. Pengolahan sampah organik perkotaan menggunakan larva *black soldier fly* (*Hermetia illucens*). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan* 7:227–234. DOI: <https://doi.org/10.29244/jpsl.7.3.227-234>.
- Morales-Ramos JA, Guadalupe Rojas M, Kay S, Shapiro-Ilan DI, Louis Tedders W. 2012. Impact of adult weight, density, and age on reproduction of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Entomological Science* 47:208–220. DOI: <https://doi.org/10.18474/0749-8004-47.3.208>.
- Nukmal N, Umar S, Amanda SP, Kanedi M. 2018. Effect of styrofoam waste feeds on the growth, development and fecundity of mealworms (*Tenebrio molitor*). *Journal of Biological Sciences* 18:24–28. DOI: <https://doi.org/10.3844/ojbsci.2018.24.28>.
- Nurul AH, Noor MA. 2019. Food preference of *Oryzaephilus surinamensis* (Coleoptera: Silvanidae) to different types of plant products. *Malaysian Journal Halal Research* 2:53–57. DOI: <https://doi.org/10.2478/mjhr-2019-0015>.
- Przemieniecki SW, 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113265>.
- Rahmawati, Nukmal N, Umar S. 2017. Pengaruh dua jenis pakan terhadap lama stadium larva kumbang *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Jurnal Biologi Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati* 4:29–35. DOI: <https://doi.org/10.23960/jbekh.v4i2.131>.
- Reznikova Z, Dorosheva E. 2013. Catalog learning: Carabid beetles learn to manipulate with innate coherent behavioral patterns. *Evolutionary Psychology* 11:513–537. DOI: <https://doi.org/10.1177/147470491301100304>.
- Rho MS, Lee KP. 2015. Nutrient-specific food selection buffers the effect of nutritional imbalance in the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *European Journal of Entomology* 112:251–258. DOI: <https://doi.org/10.14411/eje.2015.030>.
- Rho MS, Lee KP. 2016. Balanced intake of protein and carbohydrate maximizes lifetime reproductive success in the mealworm beetle, *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of Insect Physiology* 91–92:93–99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2016.07.002>.
- Riudavets J, Salas I, Pons MJ. 2007. Damage characteristics produced by insect pests in packaging film. *Journal of Stored Products Research* 43:564–570. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2007.03.006>.
- Rumbos CI, Bliamplias D, Athanassiou CG. 2021. Rearing *Tenebrio molitor* and *Alphitobius diaperinus* larvae on seed cleaning process byproducts. *Insect* 12:203. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects12040293>.
- Sa'diyah A, Trihadiningrum Y. 2021. Kajian fragmentasi low density polyethylene akibat radiasi sinar ultraviolet dan kecepatan aliran air. *Jurnal Teknis ITS* 9:34–40. DOI: <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i2.53590>.
- Sumari S, Fajaroh F, Santoso A, Nazriati N, Rizqiyah L. 2019. Efek radiasi sinar matahari dan sinar ultra violet pada plastik *styrofoam* kemasan makanan dan minuman. *JC-T (Journal Cis-Trans) Jurnal Kimia dan Terapannya* 3:23–33. DOI: <https://doi.org/10.17977/um0260v3i12019p023>.
- Suzuki S. 2011. Biparental burying beetles, *Nicrophorus quadripunctatus* (Coleoptera, Silphidae): Do not show a division of labor in their Carrion-burial behavior. *Elytra. New Series* 1:41–45.
- Valentine JM. 1931. The olfactory sense of the adult mealworm beetle *Tenebrio molitor* (Linn.). *Journal of Experimental Zoology* 58:165–227. DOI: <https://doi.org/10.1002/jez.1400580109>.
- Widyaningrum P. 2022. Potensi kumbang gelap sebagai biodegradator sampah plastic. Tersedia pada: <https://mipa.unnes.ac.id/v3/2022/03/potensi-kumbang-gelap-sebagai-biodegradator-sampah-plastik/>. [diakses 1 November 2022].
- Wu Q, Tao H, Wong MH. 2019. Feeding and metabolism effects of three common microplastics on *Tenebrio molitor* L. *Environmental Geochemistry and Health*. 41:17–26. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0161-5>.
- Yang SS, Brandon AM, Andrew Flanagan JC, Yang J, Ning D, Cai SY, Fan HQ, Wang ZY, Ren J, Benbow E, Ren NQ, Waymouth RM, Zhou J, Criddle CS, Wu WM. 2018. Biodegradation of polystyrene wastes in yellow mealworms

- (larvae of *Tenebrio molitor* Linnaeus): Factors affecting biodegradation rates and the ability of polystyrene-fed larvae to complete their life cycle. *Chemosphere* 191:979–989. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.117>.
- Yang Y, Yang J, Wu WM, Zhao J, Song Y, Gao L, Yang R, Jiang L. 2015a. Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: Part 2. Role of gut microorganisms. *Environmental Science & Technology*. 49:12087–12093. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02663>.
- Yang Y, Yang J, Wu WM, Zhao J, Song Y, Gao L, Yang R, Jiang L. 2015b. Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: Part 1. Chemical and physical characterization and isotopic tests. *Environmental Science & Technology* 49:12080–12086. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02661>.