



Potensi reproduksi dan morfometri lalat tentara hitam, *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) yang dipelihara pada kotoran ayam dan kotoran domba

Reproductive potential and morphometry of the black soldier fly,
Hermetia illucens (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) reared on
chicken and sheep manure

Ucu Julita*, Ida Kinasih, Dwindi Andini

Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung
Jalan A.H. Nasution no 105, Cibiru, Bandung 40164, Indonesia

(diterima Februari 2023, disetujui Juli 2023)

ABSTRAK

Limbah kotoran ternak, seperti kotoran ayam dan kotoran domba merupakan salah satu limbah organik yang menimbulkan permasalahan lingkungan, seperti pencemaran bau tak sedap dan menjadi medium perkembangbiakan organisme patogen yang berbahaya untuk kesehatan. Lalat tentara hitam (*black soldier fly* [BSF]) diketahui memiliki kemampuan untuk mengonversi beragam jenis limbah organik secara efektif termasuk limbah kotoran ternak. Penelitian ini bertujuan mengetahui potensi reproduksi dan morfometri BSF yang dipelihara pada kotoran domba dan kotoran ayam. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental menggunakan rancangan acak lengkap dengan tiga perlakuan, yaitu perlakuan kotoran ayam, kotoran domba, dan pakan ayam (kontrol) dengan masing-masing lima ulangan. Parameter yang diukur meliputi waktu perkembangan, morfometri, jumlah pasangan yang kawin, dan fekunditas. Perlakuan kotoran domba memiliki waktu perkembangan yang paling tinggi di antara perlakuan lainnya. Morfometri BSF dewasa yang dipelihara pada pakan ayam mempunyai nilai morfometri tertinggi dibandingkan kotoran ayam dan kotoran domba. BSF yang dipelihara dengan pakan ayam mempunyai jumlah pasangan kawin terbanyak (44 pasang) dibandingkan yang diberi kotoran domba (31 pasang) dan kotoran ayam (20 pasang). Fekunditas telur tertinggi terdapat pada BSF yang diberi pakan ayam (3.535 butir). Hal ini menunjukkan bahwa kotoran ayam dan kotoran domba cocok sebagai media pertumbuhan BSF, namun potensinya lebih rendah dibandingkan pakan ayam.

Kata kunci: BSF, kotoran ayam, kotoran domba, morfometri, sukses reproduksi

ABSTRACT

Livestock manure such as chicken and sheep manures causes environmental problems such as odor pollution and pathogens found in livestock manure are harmful to animal and human health. The black soldier fly (BSF) have the ability to convert various types of organic waste effectively including livestock manure. Information on the reproductive potential and morphometry of BSF reared on livestock manure is still lack, as important data for optimizing the use of BSF to manage livestock manure. This study aims to determine the reproductive potential and morphometry of BSF reared on sheep and chicken manures. This experimental study used completely randomized design with three treatments, consist of chicken manure, sheep manure, and chicken feed as control. The development time, morphometry, mating frequency, and BSF fecundity were assessed. The sheep manure treatment had the highest development time among other treatments. Adult BSF

*Penulis korespondensi: Ucu Julita, Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung
Jalan A.H. Nasution no 105, Cibiru, Bandung 40164, Indonesia, Tel: 022-7800525, Email: ucujulita@uinsgd.ac.id

morphometry reared on the chicken feed had the highest morphometric values compared to the chicken manure and the sheep manure. BSF reared on chicken feed had the highest number of mating pairs (44 pairs) compared to those treated with sheep manure (31 pairs) and chicken manure (20 pairs). The highest egg fecundity was found in BSF treated with chicken feed (3,535 eggs). These suggested that chicken manure and sheep manure are suitable as growth media for BSF, while its reproductive potential is lower compared to chicken feed.

Key words: BSF, chicken manure, morphometry, reproductive success, sheep manure

PENDAHULUAN

Jumlah peternakan diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya permintaan konsumen terhadap hasil ternak, seperti daging dan telur. Namun demikian, peningkatan aktivitas peternakan menghasilkan banyak limbah kotoran ternak yang mengancam lingkungan jika tidak dikelola dengan baik (Makkar et al. 2014). Kotoran ternak, seperti kotoran ayam dan kotoran domba merupakan limbah organik yang sangat berbahaya, dan jika tidak diolah akan menimbulkan resiko penyebaran patogen dan pencemaran lingkungan berupa bau tidak sedap (Sun et al. 2016; Rehman et al. 2017; Usman et al. 2020). Oleh karena itu, penting untuk menemukan cara yang efektif untuk mendaur ulang aliran limbah organik kotoran ternak ini. Salah satu metode alternatif yang dapat dilakukan untuk mengelola limbah kotoran ternak adalah dengan memanfaatkan serangga yang mampu mengonsumsi limbah organik, seperti larva *black soldier fly* (BSF), *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae). Beberapa penelitian telah menunjukkan kemampuan dari larva BSF yang dapat digunakan untuk mengonversi berbagai residu organik termasuk sisa makanan dan limbah pada industri pertanian, peternakan, maupun feses (Oliveira 2015; Ula et al. 2018) menjadi biomasa tubuh larva yang mengandung protein sebesar 40–50% (Wardhana 2017), lemak sebesar 24–30% (Fahmi 2015), dan asam lemak tak jenuh sebesar 2,59–5,61% (Putra et al. 2021) sebagai bahan baku pakan ternak berkualitas (Amandanisa & Suryadarma 2020).

Terkait dengan kotoran ternak, beberapa penelitian telah melaporkan kemampuan dari larva BSF untuk mengelola limbah kotoran ternak (Lalander et al. 2019; Miranda et al. 2019; Mazza et al. 2020). Selain mengubah limbah kotoran

ternak menjadi biomasa tubuh dengan kandungan protein dan lemak tinggi (Julita et al. 2018), larva BSF juga dapat mengurangi aroma tidak sedap (Xiao et al. 2018) dan menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen, seperti *Staphylococcus aureus* (Zhang et al. 2021).

Tomberlin et al. (2002) melaporkan bahwa perkembangan dan riwayat hidup BSF sangat bergantung pada medium pemeliharaan yang digunakan saat periode larva. Makanan yang dicerna oleh BSF saat periode larva memengaruhi fisiologi, status nutrisi, perkembangan morfologi, dan sukses reproduksi saat dewasa (Gobbi et al. 2013). Ketersediaan stok populasi BSF pada sistem pengelolaan limbah organik yang berkelanjutan sangat bergantung pada kemampuan reproduksi dan tingkat fekunditas BSF (Wicker-Thomas 2007). Reproduksi merupakan tahapan yang paling esensial dalam pengembangan dan pemeliharaan BSF secara efisien (Hoc et al. 2019).

Informasi mengenai potensi reproduksi dan morfometri BSF yang dipelihara pada kotoran ternak khususnya kotoran ayam dan kotoran domba masih sangat minim. Penelitian ini dirancang untuk mengetahui seberapa potensial pemeliharaan BSF pada media kotoran ayam dan kotoran domba tanpa campuran apapun, serta pengaruhnya terhadap morfometri serta sukses kawin dan reproduksi. Parameter pengamatan yang digunakan akan menjadi informasi penting untuk pengembangan dan pemahaman tentang variabel yang dapat mempengaruhi keberhasilan produksi telur dalam sistem pemeliharaan BSF. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh media kotoran ayam dan kotoran domba terhadap potensi reproduksi dan morfometri BSF dengan parameter pengamatan yang meliputi waktu perkembangan, ukuran tubuh, jumlah pasangan BSF yang kawin, dan fekunditas.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan secara *semi-outdoor* di dalam *screen house* di Kebun Terpadu dan Laboratorium Terpadu, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung, dari bulan Februari sampai bulan Juni 2022. Suhu udara di tempat pengamatan berkisar 25–26,8 °C dengan rata-rata 25,9 °C, intensitas cahaya berkisar 4400,4–4577 lux dengan rata-rata 5309,7 lux, dan kelembapan udara berkisar 62,2–77,8% dengan rata-rata 70,1% (hasil pengukuran selama 14 hari).

Pemeliharaan BSF

Telur BSF diperoleh dari pusat budi daya maggot BSF Manglayang Integrated Farm Cisarupan Kota Bandung. Sebanyak 5 gram telur BSF ditetaskan di media pakan ayam (merk HI-PRO-VIT 512) yang telah ditambahkan air hingga kelembapan 60% di dalam baki plastik berukuran 30 cm × 30 cm × 12 cm (panjang × lebar × tinggi). Setelah menetas dan berumur 7 hari, larva dipelihara pada media sesuai dengan perlakuan, yaitu kotoran ayam, kotoran domba, serta pakan ayam sebagai kontrol yang dilakukan sebanyak lima ulangan. Kotoran ayam dan kotoran domba dikumpulkan dari lokasi peternakan yang ada di Kecamatan Cilengkrang, Kota Bandung. Sebanyak 200 individu larva dipelihara pada *cup* plastik berukuran tinggi 12 cm dan diameter 7 cm yang berisi media perlakuan dengan dosis 100 mg/larva/hari. Larva BSF dipelihara hingga memasuki tahapan pupa. Selanjutnya pupa dipelihara secara individu untuk memastikan virginitas dewasa sebelum dilakukan pengamatan terhadap jumlah pasangan BSF kawin.

Pada penelitian ini diamati waktu perkembangan BSF dari fase telur hingga dewasa. Pengukuran morfometri BSF meliputi bobot prepupa, ukuran panjang prepupa dan lebar prepupa serta morfometri dewasa jantan dan betina. Variabel morfometri bobot, panjang, dan lebar dilakukan pada masing-masing 20 individu prepupa semua perlakuan. Pengukuran bobot menggunakan neraca analitik (ketelitian 0,001 gram), sedangkan pengukuran panjang dan lebar prepupa menggunakan kaliper digital. Parameter pengukuran morfometri BSF dewasa dilakukan

pada 20 individu dewasa jantan dan betina dari semua perlakuan dengan metode pengukuran mengacu pada penelitian Segura et al. (2007), yaitu dengan mengukur sembilan bagian tubuh BSF, yakni lebar kepala (*head width*), lebar muka (*face width*), panjang jarak mata (*eye length*), panjang toraks (*thorax length*), panjang tibia (*tibia length*), panjang femur (*femur length*), panjang sayap (*wing length*), lebar sayap (*wing width*), panjang tubuh (*body length*).

Pengamatan jumlah pasangan BSF yang kawin

Sebanyak 30 pasang BSF dewasa berukuran homogen dan berumur < 24 jam dipilih dan dimasukkan ke dalam kandang. Kandang pengamatan berukuran 30 cm × 30 cm × 30 cm yang ditutup dengan jaring kemudian ditempatkan di dalam *screen house* untuk mendapatkan pencahayaan matahari yang optimal. Kandang pengamatan kawin terdiri atas 3 kandang ulangan untuk setiap perlakuan. Jumlah pasangan BSF kawin harian diamati dengan cara menghitung rata-rata jumlah pasangan kawin BSF per hari dengan interval waktu pengamatan selama 20 menit dari pukul 06.00–18.00 selama 14 hari. Selama pengamatan, posisi kawin BSF adalah saling membelakangi (Wardhana 2017) maupun jantan yang mencengkeram bagian belakang betina, yang terkadang dilanjutkan dengan mengubah posisinya 180° menjadi saling membelakangi (Gambar 1). Jumlah kawin total diukur dengan menghitung total jumlah pasangan kawin BSF yang terjadi selama 14 hari pengamatan.

Pengamatan fekunditas

Pengamatan fekunditas dilakukan dengan menghitung total jumlah dan bobot telur yang



Gambar 1. Posisi kawin BSF pada saat pengamatan.
Figure 1. BSF mating position at the time of observation.

dihasilkan oleh betina BSF selama waktu pengamatan. *Ovitrap* jenis kayu (20 cm × 5 cm × 1 cm) ditempatkan di sudut wadah berisi 30 imago dan atraktan berupa media perlakuan yang dapat merangsang oviposisi dan diganti setiap hari (Julita et al. 2021).

Analisis data

Analisis statistik dilakukan dengan analisis varians satu arah (ANOVA) pada nilai signifikansi (α) 0,05 kemudian dilanjutkan dengan uji Duncan menggunakan *software* SPSS versi 25.0 untuk mengetahui perbedaan jumlah pasangan BSF kawin dan fekunditas di antara perlakuan.

HASIL

Perkembangan setiap fase dan lama hidup serta morfometri lalat tentara hitam

Waktu yang dibutuhkan pada fase telur, prepupa dan pupa pada setiap perlakuan relatif sama, akan tetapi berbeda pada fase larva dan imago (Tabel 1). Selama siklus hidup, waktu perkembangan terpanjang pada semua perlakuan adalah pada fase larva. Larva yang dipelihara pada kotoran domba menunjukkan waktu pertumbuhan yang paling lambat dan berbeda secara signifikan ($P < 0,05$) dibandingkan dengan kotoran ayam dan kontrol. Lama hidup fase dewasa BSF yang dipelihara pada perlakuan kotoran ayam dan kotoran domba lebih pendek dan berbeda secara signifikan ($P < 0,05$) dibandingkan dengan kontrol. Lama hidup dewasa mempengaruhi periode kawin pada BSF (Gambar 3).

Hasil pengamatan pada 20 individu prepupa menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang

signifikan ($P < 0,05$) di antara perlakuan pada parameter bobot, panjang, dan lebar prepupa. Nilai tertinggi terdapat pada prepupa yang dipelihara pada medium kontrol, diikuti dengan perlakuan kotoran ayam serta nilai terendah terdapat pada perlakuan kotoran domba (Tabel 2). Adapun hasil pengukuran morfometri jantan dan betina BSF dewasa (Tabel 3) diketahui bahwa BSF yang dipelihara pada perlakuan pakan ayam memiliki nilai morfometri paling tinggi diantara perlakuan lainnya dan berbeda secara signifikan ($P < 0,05$) pada semua parameter morfometri dewasa. BSF betina cenderung memiliki ukuran morfometri yang lebih besar daripada BSF jantan pada semua perlakuan terutama pada parameter pengukuran panjang sayap (*wing length*), lebar sayap (*wing width*), dan panjang tubuh (*body length*).

Jumlah pasangan BSF yang kawin

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kelompok kontrol memiliki jumlah pasangan yang kawin (44 pasang) yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok yang mendapatkan perlakuan kotoran domba (31 pasangan) dan kotoran ayam (20 pasang) (Gambar 2). Jumlah pasangan yang kawin harian tertinggi terjadi pada hari kedua pengamatan untuk seluruh perlakuan (Gambar 3). Periode kawin terpendek terdapat pada perlakuan kotoran ayam (5 hari), diikuti oleh periode kawin perlakuan kotoran domba (8 hari), dan periode kawin terpanjang terdapat pada kontrol yaitu 12 hari.

Fekunditas

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa rata-rata jumlah total telur yang diproduksi oleh BSF pada perlakuan kotoran ayam lebih tinggi (720

Tabel 1. Waktu perkembangan BSF pada setiap perlakuan

Table 1. *BSF development time in each treatment*

Perlakuan (<i>Treatment</i>)	Waktu perkembangan BSF (<i>BSF development time</i>)*				
	Telur (<i>Eggs</i>)	Larva (<i>Larvae</i>)	Prepupa (<i>Prepupa</i>)	Pupa (<i>Pupa</i>)	Dewasa (<i>Adult</i>)
Kotoran Ayam (<i>Chicken manure</i>)	3 ± 0 a	14,8 ± 0,335 a	8,2 ± 0,335 b	8,6 ± 0,727 b	7,6 ± 0,219 a
Kotoran Domba (<i>Sheep manure</i>)	3 ± 0 a	26,8 ± 0,438 b	7,5 ± 0,200 ab	7,2 ± 0,179 a	9,0 ± 0,000 b
Kontrol (<i>Control</i>)	3 ± 0 a	13,6 ± 0,358 a	7,0 ± 0,000 a	9,6 ± 0,358 c	14,8 ± 0,179 c

*Nilai menunjukkan rata-rata ± SE, huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata secara statistik ($\alpha = 0,05$) (*values show mean ± SE, same letters in the same column shows not significantly different ($\alpha = 0.05$).*)

Tabel 2. Bobot, panjang, dan lebar prepupa yang dipelihara pada setiap perlakuan
Table 2. The weight, length, and width of the prepupa reared on each treatment

Perlakuan (Treatment)	Bobot (gram) (N = 20) (Weight)	Panjang (mm) (N = 20) (Length)	Lebar (mm) (N = 20) (Width)
Kotoran ayam (Chicken manure)	0,127 ± 0,0003 b	13,140 ± 1,2989 b	3,53 ± 0,089 b
Kotoran domba (Sheep manure)	0,107 ± 0,0009 a	11,925 ± 0,2537 a	3,12 ± 0,092 a
Kontrol (Control)	0,186 ± 0,0002 c	18,085 ± 0,3872 c	4,65 ± 0,041 c

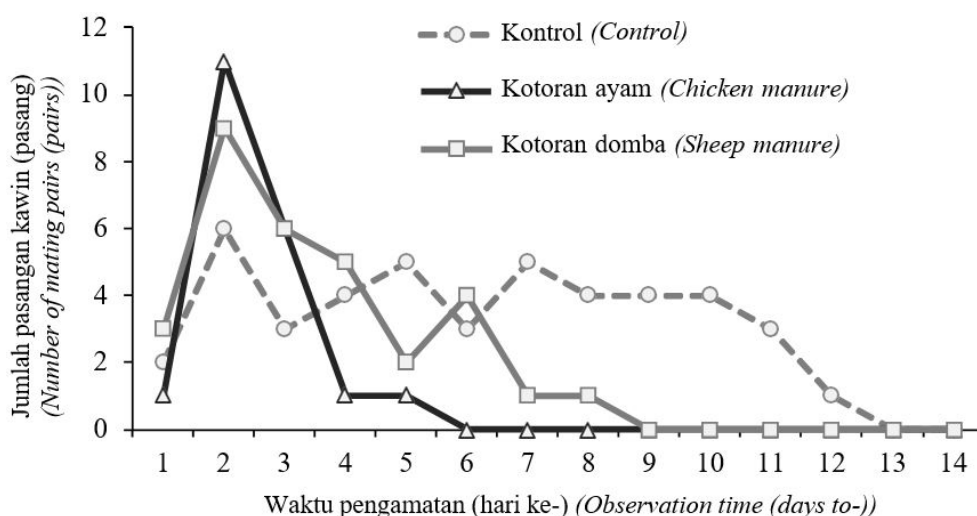
Nilai menunjukkan rata-rata ± SE, huruf berbeda pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan nyata secara statistik ($\alpha = 0,05$) (Values show mean ± SE, letters differ in the same line shows the difference statistically significant ($\alpha = 0.05$)).

Tabel 3. Morfometri BSF dewasa jantan dan betina yang dipelihara pada setiap perlakuan
Table 3. Morphometrics of male and female adult of BSF reared on each treatment

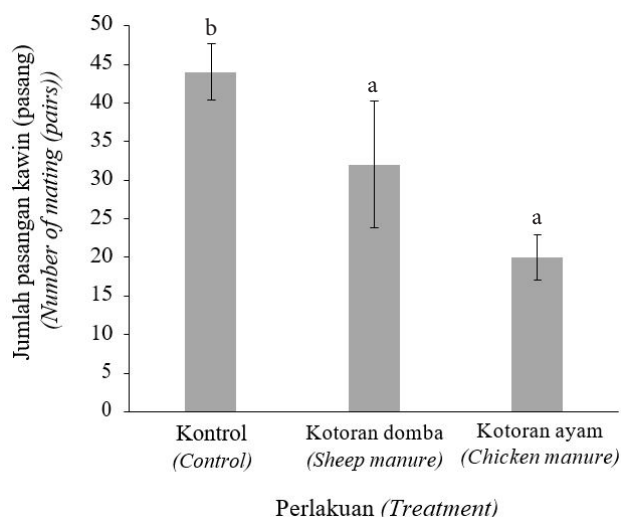
Morfometri (Morphometrics) (mm)	Kontrol (Control)		Kotoran ayam (Chicken manure)		Kotoran domba (Sheep manure)	
	Jantan (Male)	Betina (Female)	Jantan (Male)	Betina (Female)	Jantan (Male)	Betina (Female)
HW	3,305 ± 0,594 c	3,560 ± 0,031 c	3,190 ± 0,039 b	2,660 ± 0,031 b	2,805 ± 0,059 a	2,460 ± 0,031 a
FW	1,125 ± 0,061 c	1,125 ± 0,042 c	1,075 ± 0,038 b	0,825 ± 0,042 b	0,925 ± 0,049 a	0,625 ± 0,042 a
EL	1,420 ± 0,039 c	1,440 ± 0,047 c	1,125 ± 0,034 b	0,540 ± 0,048 b	0,920 ± 0,039 a	0,380 ± 0,336 a
THL	3,845 ± 0,079 c	3,875 ± 0,183 b	3,610 ± 0,074 b	3,575 ± 0,084 a	3,345 ± 0,079 a	3,375 ± 0,084 a
TIL	2,085 ± 0,075 b	0,680 ± 0,082 b	2,025 ± 0,068 b	0,530 ± 0,080 a	1,575 ± 0,072 a	0,405 ± 0,063 a
FL	2,740 ± 0,980 b	2,515 ± 0,078 a	2,690 ± 0,098 b	2,385 ± 0,109 a	2,230 ± 0,097 a	2,515 ± 0,584 a
WL	9,905 ± 0,132 b	10,805 ± 0,119 b	9,305 ± 0,132 a	10,505 ± 0,190 ab	9,105 ± 0,132 a	10,305 ± 0,120 a
WW	2,780 ± 0,082 b	3,015 ± 0,078 b	2,480 ± 0,082 a	2,715 ± 0,078 a	2,280 ± 0,082 a	2,515 ± 0,078 a
P	18,085 ± 0,380 b	19,400 ± 5,727 c	10,525 ± 0,170 a	12,585 ± 0,270 b	10,200 ± 0,168 a	12,450 ± 0,300 ab

HW: lebar kepala (head width); FW: lebar muka (face width), EL: jarak mata (eye length); THL: panjang toraks (thorax length); TIL: panjang tibia (tibia lengt); FL: panjang femur (femur length); WL: panjang sayap (wing length); WW: lebar sayap (wing width); P: panjang tubuh (body length);

Nilai menunjukkan rata-rata ± SE, huruf berbeda pada baris dan jenis kelamin yang sama menunjukkan perbedaan nyata secara statistik ($\alpha = 0,05$) (Values indicate mean ± SE, different letters in the same line and sex indicate statistically significant differences ($\alpha = 0.05$)).



Gambar 2. Jumlah pasangan BSF yang kawin per hari selama waktu pengamatan.
Figure 2. Number of BSF mating pairs per day during the observation time.



Gambar 3. Jumlah pasangan BSF yang kawin pada setiap perlakuan (huruf berbeda pada batang menunjukkan perbedaan nyata secara statistik ($\alpha = 0,05$)).

Figure 3. Number of BSF mating pairs in each treatment (different letters bars indicate statistically significant differences ($\alpha = 0.05$)).

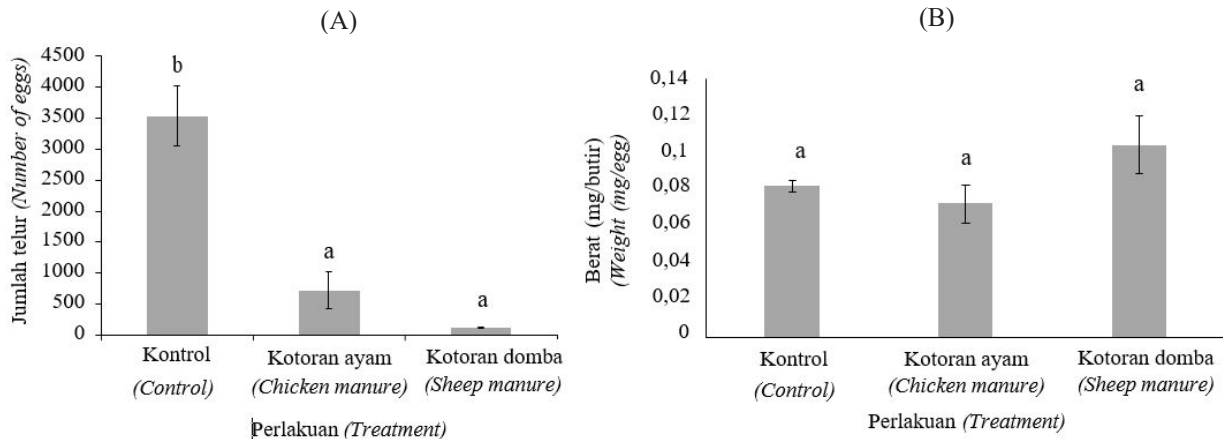
butir) dibandingkan dengan perlakuan kotoran domba (121 butir). Nilai tersebut jauh lebih rendah dan berbeda secara signifikan ($P < 0,05$) dibandingkan dengan jumlah telur yang diproduksi BSF pada perlakuan kontrol, yaitu sebanyak 3.535 butir dengan bobot 284,3 mg (Gambar 4A). Akan tetapi, untuk bobot telur yang dihasilkan ternyata telur pada perlakuan kotoran domba memiliki bobot yang lebih tinggi (0,104 mg/butir) bila dibandingkan dengan perlakuan kotoran ayam (0,072 mg/butir) dan kontrol (0,082 mg/butir) (Gambar 4B). Telur yang diproduksi BSF kemudian dilihat menggunakan mikroskop stereo pada pembesaran 10 kali dan memiliki panjang rata-rata 0,08 mm (Gambar 5).

PEMBAHASAN

Perbedaan lama perkembangan larva dipengaruhi oleh kandungan nutrisi yang ada pada setiap media perlakuan. Media dengan kandungan protein dan lemak yang rendah akan memperlambat waktu perkembangan selama lebih dari 30 hari (Barragan-Fonseca et al. 2017). Kandungan protein dan lemak pada media pakan sangat dibutuhkan untuk mendukung pertumbuhan larva BSF. Kotoran ayam mengandung protein 18,64–34,50% (Singh et al. 2018; Purnamasari et al. 2021), dan lemak 0,35–3,30% (Raharjo et al. 2016; Broeckx et al. 2021). Sementara itu, kotoran

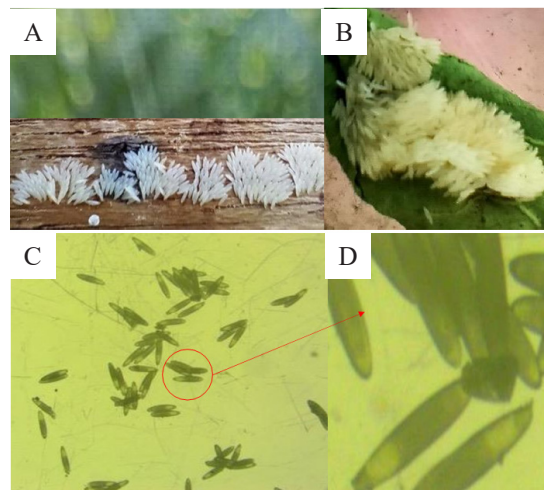
domba mengandung protein 13,34% dan lemak 4,27% (Julita et al. 2018) dan pakan ayam memiliki kandungan nutrisi 22,00–25,32% protein, dan 3–6% lemak (Dzepe et al. 2021; Rachmawati et al. 2010). Fase larva pada perlakuan kotoran domba memiliki waktu perkembangan paling lama, yaitu selama 27 hari karena tekstur kotoran domba yang keras dan kandungan serat yang lebih banyak, yaitu 20,77% (Julita et al. 2018) dibandingkan dengan kotoran ayam, yaitu 7–16% (Purnamasari et al. 2021), dan pakan ayam 3,5–6,0% (Rachmawati et al. 2010; Dzepe et al. 2021). Menurut Zheng et al. (2012), kandungan serat dan lignin yang ada di dalam substrat akan menyulitkan larva dalam mencerna substrat tersebut. Lignin dan lignoselulosa sulit untuk dicerna karena larva BSF tidak memiliki enzim pendegradasi lignin di dalam saluran pencernaannya. Hal ini berpengaruh terhadap asupan nutrisi bagi larva untuk tumbuh dan berkembang (Hakim et al. 2017) sehingga memengaruhi lama perkembangan larva.

Nilai bobot prepupa pada penelitian ini sejalan dengan penelitian Miranda et al. (2019), yaitu nilai bobot prepupa BSF ketika dipelihara pada media kotoran unggas memiliki nilai bobot lebih besar dibandingkan dengan yang dipelihara pada media kotoran sapi atau babi. Gunawan et al. (2022) mengukur bobot larva pada media kotoran ayam berkisar 0,19 gram/larva. Begitu juga dengan Widyaswara et al. (2022) yang mengukur bobot larva pada



Gambar 4. Jumlah telur (A) dan berat telur (B) yang dihasilkan oleh betina BSF (huruf berbeda pada batang menunjukkan perbedaan nyata secara statistik ($\alpha = 0,05$)).

Figure 4. Number of eggs (A) and weight of egg (B) produced by females of BSF (different letters bars indicate statistically significant differences ($\alpha = 0.05$)).



Gambar 5. Telur BSF yang diperoleh saat periode oviposisi. A: koloni telur pada *ovitrap*; B: koloni telur yang telah digabung untuk pengukuran berat total; C: tampilan telur di bawah stereomikroskop; D: tampilan telur pada perbesaran 40X.

Figure 5. BSF eggs obtained during the oviposition period. A: egg colonies on the *ovitrap*; B: egg colonies that have been collected for total weight measurement; C: the appearance of eggs under stereomicroscopy; D: the appearance of eggs under stereomicroscopy at 40X magnification.

kotoran ayam sebesar 0,04 gram. Namun demikian, bobot akhir prepupa tertinggi diperoleh pada perlakuan kontrol atau media pakan ayam. Hal ini berkaitan dengan kualitas nutrisi dari pakan ayam yang menjadi makanan bagi larva BSF pada kelompok kontrol. Kualitas nutrisi yang lebih baik dan seimbang berperan penting dalam proses fisiologis larva sehingga memungkinkan untuk menghasilkan bobot lebih tinggi (Nguyen et al. 2013; Dzepe et al. 2021).

Pengukuran terhadap panjang prepupa pada setiap perlakuan menunjukkan bahwa perlakuan kotoran ayam memiliki nilai prepupa terpanjang dibandingkan dengan kotoran domba, namun

masih lebih tinggi pada perlakuan kontrol. Perbedaan panjang larva pada ketiga perlakuan dipengaruhi oleh kandungan nutrisi pada media pakan larva (Johan et al. 2021; Permana et al. 2021). Rata-rata panjang larva yang dipelihara pada media kotoran ayam tidak jauh berbeda dengan penelitian Widyaswara et al. (2022), yaitu 11,94 mm dan 13,21 mm (Logan et al. 2021).

Berdasarkan hasil pengukuran morfometri fase dewasa pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa BSF yang dipelihara pada perlakuan pakan ayam cenderung memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan kotoran domba dan perlakuan kotoran ayam. BSF betina memiliki

ukuran morfometri panjang sayap (*wing length*), lebar sayap (*wing width*) dan panjang tubuh (*body length*) yang lebih besar daripada BSF jantan pada semua perlakuan dan memengaruhi aktivitas kawin serta reproduksi. Ukuran morfologi BSF dipengaruhi oleh kualitas dan kuantitas media pakan (Gobbi et al. 2013; Tomberlin et al. 2002). Jones & Tomberlin (2021) melaporkan bahwa ukuran tubuh, terutama pada jantan, merupakan faktor kunci yang mengatur keberhasilan kawin. Pergerakan sayap oleh jantan dilaporkan sebagai bagian penting dalam upaya kawin pada BSF (Benelli et al. 2016; Giunti et al. 2018). Jantan yang lebih besar menghasilkan kepakan sayap lebih cepat dan hal ini penting bagi Diptera untuk meningkatkan kemungkinan kawin (Benelli et al. 2016). Pengaruh morfometri terhadap oviposisi telah dilaporkan Dieng et al. (2016) pada betina *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) dengan ukuran yang lebih besar menghasilkan telur 50% lebih banyak dibandingkan dengan betina yang berukuran kecil.

Pada saat pertama kali dipasangkan dalam kandang yang sama, sebagian BSF masih belum menunjukkan tanda-tanda aktivitas kawin dan lebih banyak diam. Umumnya, aktivitas kawin pada BSF dimulai pada saat umur 2 hari atau hari kedua setelah keluar dari pupa. Frekuensi kawin tertinggi terjadi pada hari kedua dan terus menurun hingga berakhirnya periode kawin (Gambar 2). Aktivitas terbang sampai dengan kawin terjadi pada saat intensitas cahaya mulai naik. Intensitas cahaya memegang peran penting dalam perilaku kawin dan oviposisi BSF (Tomberlin & Sheppard 2001). Selama waktu pengamatan, rata-rata jumlah pasangan BSF yang kawin paling banyak teramati adalah pada hari ke-2 untuk semua perlakuan (Gambar 2).

BSF yang dipelihara pada perlakuan pakan ayam atau kontrol memiliki jumlah pasangan yang kawin tertinggi dibandingkan dengan perlakuan kotoran ternak. Akan tetapi, di antara perlakuan kotoran ternak yang ada, BSF yang dipelihara pada kotoran domba memiliki jumlah pasangan yang kawin lebih tinggi dibandingkan dengan kotoran ayam. Aktivitas makan BSF hanya terjadi saat periode larva sehingga berperan penting dalam menentukan asupan dan simpanan nutrisi yang dibutuhkan hingga tahap dewasa untuk bertahan hidup, melakukan aktivitas kawin

dan bereproduksi. Lama hidup BSF dewasa yang dipelihara pada kotoran ayam dan kotoran domba lebih pendek dibandingkan dengan kontrol. Lama hidup dewasa yang pendek akan mempersingkat periode kawin pada BSF sehingga akan menurunkan jumlah pasangan BSF yang berhasil kawin. Kualitas biomassa BSF sangat bergantung pada komposisi nutrisi yang terdapat pada substrat pemeliharaan larva (Tschimer & Simon 2015). Tidak seperti jenis pakan ayam yang dirancang dengan semua kandungan nutrisi untuk pertumbuhan dan perkembangan, semua limbah organik hanya mengandung nutrisi tertentu yang berlimpah, sedangkan jenis nutrisi yang lain kurang (Kinasih et al. 2018), seperti kotoran ayam dan kotoran domba yang kandungan nutrisinya tidak selengkap pada pakan ayam sehingga mempengaruhi tingkat jumlah pasangan yang kawin pada BSF dewasa.

Telur yang dihasilkan berbentuk oval dengan warna putih kekuningan dan berukuran 0,08 mm (Gambar 5). Hal ini tidak jauh berbeda dengan yang dilaporkan Buana & Alfiah (2021) dan Fajri & Kartika (2021), yaitu 1 mm. Nilai fekunditas pada BSF yang dipelihara pada perlakuan kotoran domba tidak berbanding lurus dengan jumlah pasangan yang kawin karena tidak dapat dipastikan korelasi di antara keduanya. Fekunditas sangat dipengaruhi oleh nutrisi yang ada pada betina. Periode perkawinan dan oviposisi sangat dipengaruhi oleh cadangan lemak yang tersimpan pada BSF dewasa karena lemak sangat diperlukan dalam reproduksi untuk perkembangan ovariol (Bertinetti et al. 2019; Tomberlin & Sheppard 2002). Rachmawati et al. (2010) melaporkan bahwa ovariol BSF betina tidak lagi berkembang ketika sudah melakukan oviposisi.

Selain itu, hasil pengamatan menunjukkan imago BSF yang dipelihara pada pakan ayam memiliki panjang sayap relatif lebih besar (Tabel 3), serta memiliki jumlah telur paling banyak (Gambar 4A) dibandingkan dengan perlakuan kotoran domba dan kotoran ayam. Hal ini sejalan dengan penelitian Gobbi et al. (2013) yang menyebutkan bahwa jumlah telur berbanding lurus dengan ukuran tubuh BSF dewasa dan BSF yang memiliki ukuran tubuh dengan ukuran sayap lebih besar cenderung memproduksi telur lebih banyak. Kemudian, jumlah telur juga dipengaruhi oleh jumlah BSF yang bertahan hidup, yakni semakin

lama umur hidup BSF maka semakin banyak telur yang diproduksi (Nelly & Buchori 2017). Hal yang menarik dari hasil penelitian ini adalah walaupun BSF pada perlakuan kotoran domba memiliki jumlah telur paling sedikit, akan tetapi memiliki bobot telur relatif lebih besar dibandingkan dengan perlakuan kotoran ayam dan kontrol (Gambar 4B). Kemungkinan hal tersebut berkaitan dengan strategi survival yang dikembangkan, namun demikian diperlukan kajian penelitian lanjutan untuk menjelaskan hal tersebut. Dari hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa kotoran ayam dan kotoran domba cocok digunakan untuk medium pertumbuhan dan perkembangan BSF serta berpengaruh positif terhadap sukses kawin dan reproduksi BSF, meskipun nilainya masih lebih rendah daripada kontrol pakan ayam.

BSF sangat potensial untuk dimanfaatkan sebagai metode alternatif untuk mendegradasi limbah kotoran ayam dan kotoran domba. Namun demikian, dalam aplikasinya diperlukan campuran jenis sampah organik lain pada kotoran ayam dan kotoran domba untuk meningkatkan kandungan nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan, perkembangan, dan meningkatkan sukses reproduksi. Dengan demikian, pengelolaan limbah kotoran ayam dan kotoran domba dapat berlangsung optimal dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Jenis sampah organik yang diberikan saat periode larva mempengaruhi morfometri dan potensi reproduksi pada BSF. Ukuran morfometri BSF dewasa yang dipelihara pada pakan ayam cenderung lebih besar daripada BSF yang dipelihara pada kotoran ayam maupun kotoran domba. Perlakuan kotoran ayam dan kotoran domba saat periode larva memberikan nilai potensi reproduksi yang lebih rendah dibandingkan dengan kontrol yang dipelihara pada pakan ayam berdasarkan parameter jumlah pasangan kawin dan fekunditas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Apuy sebagai penggiat budi daya BSF di

Manglayang Integrated Farm Cisarupan Kota Bandung, yang telah membantu menyediakan telur dan larva BSF selama penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Amandanisa A, Suryadarma P. 2020. Kajian nutrisi dan budi daya maggot (*Hermentia illuciens* L.) sebagai alternatif pakan ikan di RT 02 Desa Purwasari, Kecamatan Dramaga, Kabupaten Bogor. *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat*. 2:796–804.
- Barragan-Fonseca KB, Dicke M, Van Loon, JJA. 2017. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed-A Review. *Journal of Insects as Food and Feed*. 3:105–120. DOI: <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0055>.
- Benelli G, Donati E, Romano D, Ragni G, Bonsignori GS, C Canale A. 2016. Is bigger better? Male body size affects wing-borne courtship signals and mating success in the olive fruit fly, *Bactrocera oleae* (Diptera: Tephritidae). *Insect Science*. 23:869–880. DOI: <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12253>.
- Bertinetti C, Samayoa AC, Hwang SY. 2019. Effects of feeding adults of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) on longevity, oviposition, and egg hatchability: Insights into optimizing egg production. *Journal of Insect Science*. 19:1–7. DOI: <https://doi.org/10.1093/jisesa/iez001>. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iez001>.
- Broeckx L, Froominckx L, Slegers L, Berrens S, Noyens I, Goossens S, Verheyen G, Wuyts A, Van Miert S. 2021. Growth of black soldier fly larvae reared on organic side-streams. *Sustainability*. 13:12953. DOI: <https://doi.org/10.3390/su132312953>.
- Buana SM, Alfiah T. 2021. Biokonversi kotoran ternak sapi menggunakan larva black soldier fly (*Hermetia illucens*). In: *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan IX 2021 (Surabaya, 2 Oktober 2021)*. pp. 406–412. Surabaya: LPPM-Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS).
- Dieng H, Abang F, Ahmad AH, Ghani I, Abd, Satho TM, F Noweg GT. 2016. Physical characteristics and reproductive performance in *Aedes* (Diptera: Culicidae). *Journal of Entomological and Acarological Research*. 48:323–331. DOI: <https://doi.org/10.4081/jear.2016.5883>.

- Dzepe D, Nana P, Kuintche H. M, Kimpara JM, Magatsing O, Tchuinkam T, Djouaka R. 2021. Feeding strategies for small-scale rearing black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as organic waste recycler. *SN Applied Sciences*. 3:1–13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04039-5>.
- Fahmi MR. 2015. Optimalisasi proses biokonversi dengan menggunakan mini-larva *Hermetia illucens* untuk memenuhi kebutuhan pakan ikan. *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia*. 1:139–144. DOI: <https://doi.org/10.13057/psnmbi/m010124>.
- Fajri NA, Kartika NMA. 2021. Produksi magot menggunakan manur ayam sebagai pakan unggas. *Jurnal Agribisnis dan Peternakan*. 1: 66–71. DOI: <https://doi.org/10.51673/agripteke.v1i1.609>.
- Giunti G, Campolo O, Laudani F, Palmeri V. 2018. Male courtship behaviour and potential for female mate choice in the black soldier fly *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae). *Entomologia Generalis*. 38:29–46. DOI: <https://doi.org/10.1127/entomologia/2018/0657>.
- Gobbi P, A Martinez-Sanchez, Rojo S. 2013. The effect of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *European Journal of Entomology*. 110:461–468. DOI: <https://doi.org/10.14411/eje.2013.061>.
- Gunawan A, Malik A, Rusmana D, Djaya MS, Widaningsih N. 2022. Fatty acid composition of black soldier fly maggot were reared in the mixture of laying hen manure with lemuru fish oil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1020:012020. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1020/1/012020>.
- Hakim AR, Agus P, Hilmawan, TBM. 2017. Studi laju umpan pada proses biokonversi limbah pengolahan ikan tuna menggunakan larva *Hermetia illucens*. *JPB Kelautan dan Perikanan*. 12:179–192. DOI: <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v12i2.469>.
- Hoc B, Noel G, Carpentier J, Francis F, Megido RC. 2019. Optimization of black soldier fly (*Hermetia illucens*) artificial reproduction. *PLoS ONE*. 14:e0216160. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216160>.
- Johan TI, Fahrizal A, Jabbar FMA. 2021. Kombinasi kotoran ayam dan kotoran kerbau yang difermentasi terhadap pertumbuhan dan produksi pada maggot (*Hermetia illucens*). *Jurnal Dinamika Pertanian*. XXXVII:293–300. DOI: [https://doi.org/10.25299/dp.2021.vol37\(3\).8939](https://doi.org/10.25299/dp.2021.vol37(3).8939).
- Jones BM, Tomberlin JK. 2021. Effects of adult body size on mating success of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Insects as Food and Feed*. 7:5–20. DOI: <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0001>.
- Julita U, Suryani Y, Kinasih I, Yuliawati A, Cahyanto T, Maryeti Y, Fitri LL. 2018. Growth performance and nutritional composition of black soldier fly, *Hermetia illucens* (L), (Diptera: Stratiomyidae) reared on horse and sheep manure. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 187:012071. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/187/1/012071>.
- Julita U, Fitri LL, Putra RE, Permana AD. 2021. Ovitrap preference in the black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 24:562–570. DOI: <https://doi.org/10.3923/pjbs.2021.562.570>.
- Kinasih I, Putra RE, Permana AD, Gusmara FF, Nurhadi MY, Anitasari RA. 2018. Growth performance of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) fed on some plant based organic wastes. *HAYATI Journal of Bioscience*. 25:79–84. DOI: <https://doi.org/10.4308/hjb.25.2.79>.
- Lalander C, Diener S, Zurbrugg C, Vinnerås. 2019. Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Journal of Cleaner Production*. 208:211–219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>.
- Logan LAP, Latty T, Roberts TH. 2021. Effective bioconversion of farmed chicken products by black soldier fly larvae at commercially relevant growth temperatures. *Journal of Applied Entomology*. 145:621–628. DOI: <https://doi.org/10.1111/jen.12878>.
- Mazza L, Xiao X, ur Rehman K, Cai M, Zhang D, Fasulo S, Tomberlin JK, Zheng L, Soomro AA, Yu Z, Zhang J. 2020. Management of chicken manure using black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae assisted by companion bacteria. *Waste Management*. 102:312–318. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.055>.
- Makkar HPS, Tran G, Heuzé V, Ankers P. 2014. State of the art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*. 197:1–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>.
- Miranda CD, Cammack JA, Tomberlin K. 2019. Life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), reared on three manure types. *Animals*. 9:281. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani9050281>.

- Nelly N, Buchori D. 2017. Pengaruh pakan terhadap lama hidup dan kebugaran imago *Eriborus argenteopilosus* Cameron (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Jurnal Entomologi Indonesia* 5:1–9. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.5.1.1>.
- Nguyen TT, Tomberlin JK, Vanlaerhoven S. 2013. Influence of resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larval development. *Journal of Medical Entomology*. 50:898-906. DOI: <https://doi.org/10.1603/ME12260>.
- Oliveira F. 2015. *Biological Study of Diptera: Stratiomyidae, Hermetia illucens and Evaluation of Uptake and Biodistribution of Gold Nanoparticles Using Electron Microscopy*. New York: University of New York.
- Permana AD, Putra RE, Nurulfah A, Rosmiati M, Kinasih I, Sari DA. 2021. Growth of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) fed with pak choi (*Brassica chinensis*) and carp (*Cyprinus carpio*) residues. *Biotropia*. 28:92–101. DOI: <https://doi.org/10.11598/btb.2021.28.2.1078>.
- Purnamasari D, Julia ABM, Erwan D. 2021. Potensi sampah organik sebagai media tumbuh maggot lalat black soldier (*Hermetia illucens*). *Jurnal Ilmu dan Teknologi Peternakan Indonesia*. 7: 95–106.
- Putra, RE, Fatmalasari Y, Permana AD, Kinasih I, Rosmiati M. 2021. Omega-3 content of black soldier fly prepupa (*Hermetia illucens*) fed with marine fish offal and tofu dreg. *Biotropia*. 28:64–73. DOI: <https://doi.org/10.11598/btb.2021.28.1.1082>.
- Rachmawati R, Buchori D, Hidayat P, Hem S, Fahmi M. 2010. Perkembangan dan kandungan nutrisi larva *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) pada bungkil kelapa sawit. *Jurnal Entomologi Indonesia*. 7:28–41. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.7.1.28>.
- Raharjo EI, Rachimi, Muhammad A. 2016. Dregs use tofu and feses chicken to increase production larva (*Hermetia illucens*). *Jurnal Ruaya*. 4:33–38. DOI: <https://doi.org/10.29406/rya.v4i1.692>.
- Rehman KU, Cai M, Xiao X, Zheng L, Wang H, Soomro AA, Zhou Y, Li W, Yu Z, Zhang J. 2017. Cellulose decomposition and larval biomass production from the co-digestion of dairy manure and chicken manure by mini-livestock (*Hermetia illucens* L.). *Journal Environmental Management*. 196:458–465. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.03.047.
- Segura D, Petit-Marty, Natalia, Sciurano, Roberta, Vera, Teresa, Calcagno, Graciela, Vilardi J. 2007. Lekking behavior of *Anastrepha fraterculus* (Diptera: Tephritidae). *Florida Entomologist* 90: 154–162. DOI: [https://doi.org/10.1653/0015-4040\(2007\)90\[154:LBOAFD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1653/0015-4040(2007)90[154:LBOAFD]2.0.CO;2).
- Singh G, Shamsuddin MR, Aqsha, Lim SW. 2018. Characterization of chicken manure from manjungregion. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 458:012084. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/458/1/012084>.
- Sun ZY, Zhang J, Zhong XJ, Tan L, Tang YQ, Kida K. 2016. Production of nitrate-rich compost from the solid fraction of dairy manure by a lab-scale composting system, *Waste Management*. 51:55-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.002>.
- Tomberlin JK, Sheppard DC, Joyce JA. 2002. Selected life-history traits of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) reared on three artificial diets. *Annals of the Entomological Society of America*. 95:379–386. DOI: [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2002\)095\[0379:SLHTOB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2002)095[0379:SLHTOB]2.0.CO;2).
- Tomberlin JK, Sheppard, D. 2001. Lekking behavior of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *The Florida Entomologist*. 84:729–730. DOI: <https://doi.org/10.2307/3496413>.
- Tomberlin JK, Sheppard DC. 2002. Selected life-history traits of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) reared on three artificial diets. *Annals of the Entomological Society of America*. 95:379–386. DOI: [https://doi.org/10.1603/0013-8746\(2002\)095\[0379:SLHTOB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1603/0013-8746(2002)095[0379:SLHTOB]2.0.CO;2).
- Tschimer M, Simon A. 2015. Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *Journal of Insects as Food and Feed*. 1:249–259. DOI: <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0008>.
- Ula R, Fauzi A, Resty E, Sari N. 2018. Analisis usaha budi daya maggot sebagai alternatif pakan lele business analysis of maggot cultivation as a catfish feed alternative. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*. 7:39–46. DOI: <https://doi.org/10.21776/ub.industria.2018.007.01.5>.
- Usman U, Hasan H, Hanafi MM, Kaharm MA, Elihami E. 2020. Pemanfaatan kotoran ternak sebagai bahan pembuatan biogas. *Maspul Journal of Community Empowerment*. 1:13–20.
- Wardhana AH. 2017. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) as an alternative protein source for animal feed. *Indonesian Bulletin of Animal and Veterinary Sciences*. 26:069–078. DOI: <https://doi.org/10.14334/wartazoa.v26i2.1327>.
- Wicker-Thomas C. 2007. Pheromonal communication involved in courtship behavior in Diptera, *Journal of Insect Physiology*. 53:

- 1089–1100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2007.07.003>.
- Widyaswara A, Soetiarso L, Prasetyatama YD, Hapsari U. 2022. The effect of media on nutritional content of black soldier fly (BSF) larva in SITTI technology system (integration system-plant-livestock-fish). In: Mizoguchi et al. (Eds.) *Proceedings of The 2nd International Conference on Smart and Innovative Agriculture. (Yogyakarta, 22–23 November 2022)*. pp. 161–165. Yogyakarta: EcoSIA UGM. DOI: <https://doi.org/10.2991/absr.k.220305.024>.
- Xiao XP, Mazza L, Yu YQ, Cai MM, Zheng LY, Tomberlin JK, Yu J, Van HS, Yu ZN, Fasulo S, Zhang JB. 2018. Efficient co-conversion process of chicken manure into protein feed and organic fertilizer by *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) larvae and functional bacteria. *Journal of Environmental Management*. 217:668–76. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.122>.
- Zhang JB, Yu YQ, Tomberlin JK, Cai MM, Zheng LY, Yu ZN. 2021. Organic side streams: Using microbes to make substrates more fit for mass producing insects for use as feed. *Journal of Insects as Food and Feed*. 7:597–604. DOI: <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0078>.
- Zheng L, Li Q, Zhang J, Yu Z. 2012. Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production. *Renew Energy*. 41:75–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.10.004>.