



Efek pemberian pakan berlebih berupa limbah sayuran pakcoy terhadap daya cerna, tingkat penurunan limbah, dan kandungan protein pada lalat tentara hitam (*Hermetia illucens* (Linnaeus))

Effect of overfeeding of pok choi vegetable waste to digestibility, waste reduction, and protein content of black soldier fly (*Hermetia illucens* (Linnaeus))

Agus Dana Permana¹, Ramadhani Eka Putra^{1*}, Raeka Okata Soebakti¹, Ida Kinasih²

¹Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Labtek XI, Insitut Teknologi Bandung
Jalan Ganesa No. 10 Bandung 40132, Indonesia

²Jurusan Biologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung
Gedung Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung
Jalan A.H. Nasution No. 105, Bandung 40614, Indonesia

(diterima Januari 2020, disetujui Juni 2021)

ABSTRAK

Salah satu bentuk pengendalian sampah organik yang sekarang aktif dikembangkan adalah proses biokonversi menggunakan larva lalat tentara hitam (*Hermetia illucens* (Linnaeus)). Salah satu tantangan dalam pengolahan limbah organik adalah mengolah limbah organik pada lokasi penampungan limbah dengan luas terbatas. Kondisi ini menyebabkan tingginya jumlah sampah yang harus dikonversi (dikonsumsi) oleh larva. Penelitian ini dilakukan untuk mengamati kemampuan cerna dan kualitas larva yang diberi pakan berupa sayuran busuk dalam jumlah berlebih. Sampah limbah sayur pakcoy diberikan dengan jumlah 200, 300, 400, dan 500 mg/larva/hari dengan pengulangan 3 kali. Variabel yang diamati adalah laju pertumbuhan, jumlah sampah yang dapat direduksi (*waste reduction index* (WRI)), efisiensi pembentukan biomassa (*efficiency of conversion of digested-feed* [ECD]), produk yang dihasilkan (biomassa akhir), dan kandungan protein pada larva, pupa, dan dewasa. Hasil penelitian menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada berat biomassa yang dipanen seiring dengan peningkatan jumlah pakan yang diberikan (*one-way ANOVA*, $P > 0,05$). Peningkatan pemberian pakan secara signifikan menurunkan efisiensi proses penguraian dan proses perubahan limbah menjadi biomassa tubuh serangga (*one-way ANOVA*, $P < 0,05$). Penelitian ini menghasilkan dugaan bahwa batas atas kemampuan konsumsi larva adalah pada tingkat pemberian pakan sebesar 400 mg/larva/hari. Di sisi lain, peningkatan jumlah pakan yang diberikan meningkatkan kandungan protein kasar pada biomassa dari setiap tahapan perkembangan larva.

Kata kunci: *efficiency of conversion of digested-feed* (ECD), *Hermetia illucens*, limbah sayur, *waste reduction index* (WRI)

ABSTRACT

One of the recent organic waste management programs actively developed is organic waste bioconversion by using larvae of black soldier fly (*Hermetia illucens* (Linnaeus)). However, one major challenge in organic waste management in Indonesia is the limited space to manage the wastes at waste collection centers. This condition increases the number of wastes to be converted (consumed) by larvae of soldier fly. In this study, the condition was imitated in the laboratory where

*Penulis korespondensi: Ramadhani Eka Putra. Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung
Jalan Ganesha No. 10 Bandung 40132, Indonesia, Tel: (022) 2511575, Faks: (022) 2534107, E-mail: ramadhani@sith.itb.ac.id

larvae were individually fed with a large number of wastes. Larvae were divided into 4 groups and were fed with 200, 300, 400, and 500 mg/larva/day of rotten vegetable waste (Pakcoy) and were replicated 3 times. Variables observed during the study were the growth rate, consumption capability, level of waste reduction (waste reduction index, WRI), consumption efficiency (efficiency of conversion of digested-feed, ECD), the weight of harvested biomass, and protein content of larvae, pupae, and adults. The results showed that there was no significant correlation between the weight of harvested biomass and the amount of substrate provided to larvae (one-way ANOVA, $P > 0.05$). The increasing amount of substrate reduced the efficiency of waste reduction and consumption (one-way ANOVA, $P < 0.05$). This study also showed that the possible upper limit of consumption capability of larvae was 400 mg/larva/day. On the other hand, the increasing amount of substrate increased the protein content of biomass of each developmental stage.

Key words: efficiency of conversion of digested feed (ECD), *Hermetia illucens*, vegetable wastes, waste reduction index (WRI)

PENDAHULUAN

Budi daya sayuran merupakan salah satu bentuk sistem pertanian yang umum dilakukan di Indonesia dengan total produksi pada tahun 2001 mencapai 9 juta ton dengan laju pertumbuhan produksi rata-rata 8% per tahun. Budi daya sayuran sendiri didominasi oleh beberapa provinsi di Indonesia, seperti Jawa Barat (35,6%), Jawa Tengah (13,3%), Jawa Timur (11,9%), dan Sumatera Utara (10,3%) (BPS 2011).

Peningkatan produksi sayuran sendiri menghasilkan dampak negatif dalam hal peningkatan jumlah limbah organik berbasis sayuran di daerah sentra produksi maupun di sentra pemasaran sebagai bagian dari aktivitas pascapanen. Pendekatan yang paling umum dilakukan berkaitan dengan pengolahan limbah organik adalah dengan (1) memanfaatkannya sebagai pakan ternak (Bahrun & Herliana 2019), (2) memanfaatkannya sebagai bahan dasar pupuk organik melalui proses komposting (Larasati & Puspikawati 2019), dan (3) menumpuknya di lokasi pembuangan sampah dengan mekanisme *sanitary landfill* (Natawijaya & Meylani 2020). Model-model pengolahan sampah ini menghasilkan produk baru yang memiliki pangsa pasar terbatas, membutuhkan energi tinggi terkait dengan proses pengangkutan limbah (menggunakan bahan bakar karbon) dan pengolahan limbah (menggunakan energi panas), maupun wilayah yang luas sehingga menyebabkan aktivitas pengolahan limbah organik memiliki tingkat kesinambungan (*sustainability*) yang relatif rendah. Pendekatan lain yang mulai dikembangkan pada dekade terakhir ini adalah menerapkan proses dekomposisi limbah organik dengan bantuan makrofauna, seperti cacing

tanah, ulat hongkong, larva lalat rumah, dan larva lalat tentara hitam (Ndegwa & Thompson 2001; Ramos-Elorduy et al. 2002; Li et al. 2011; Wang et al. 2016; Kinasih et al. 2018, Liu et al. 2019). Di antara berbagai metoda tersebut, pengolahan limbah dengan larva lalat tentara hitam dilaporkan paling efektif terkait dengan variasi jenis limbah yang dikonsumsi (Bonelli et al. 2020), tingkat penurunan gas rumah kaca (Pang et al. 2020), dan variasi produk yang memiliki nilai manfaat ekonomi (Lalander et al. 2018). Aktivitas dekomposisi (melalui konsumsi limbah organik) oleh larva lalat tentara hitam menghasilkan dua produk, yaitu biomassa tubuh larva dan residu hasil proses konsumsi limbah organik oleh larva. Biomassa larva serangga ini memiliki kandungan protein yang berpotensi sebagai bahan baku pakan ternak maupun hewan peliharaan (Li et al. 2016; Renna et al. 2017; Schiavone et al. 2017; Lei et al. 2019) dan lemak yang berpotensi sebagai bahan baku biofuel (Li et al. 2011; Zheng et al. 2011). Di sisi lain, residu yang dihasilkan dari proses ini memiliki potensi untuk digunakan sebagai komponen dalam perbaikan kualitas tanah (Choi et al. 2009).

Efisiensi proses pengolahan limbah organik oleh lalat tentara hitam (dikenal juga dengan istilah biokonversi) sangat ditentukan oleh jenis, kualitas, dan jumlah limbah organik (Diener et al. 2011; Fonseca et al. 2018; Meneguz et al. 2018b), serta berbagai faktor lingkungan (Harnden & Tomberlin 2016; Meneguz et al. 2018a). Kombinasi yang tepat antara keseluruhan faktor ini dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi proses biokonversi dalam hal penurunan jumlah limbah, stabilisasi limbah organik, optimalisasi produksi biomassa, serta waktu proses biokonversi (Parra Paz et al. 2015).

Sementara itu, terdapat tantangan dalam aplikasi larva lalat tentara hitam dalam proses dekomposisi limbah organik, yaitu proporsi antara jumlah lahan pemeliharaan dan jumlah limbah yang diolah, terutama di daerah-daerah sumber limbah. Pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengurangi penggunaan lahan adalah dengan meningkatkan jumlah substrat yang diberikan per larva lalat tentara hitam. Beberapa penelitian dengan berbagai jenis limbah organik pada umumnya memiliki jumlah maksimal tingkat pemberian pakan kepada larva sebesar 250 mg/larva/hari (Parra Paz et al. 2015; Nyakeri et al. 2019) dengan aplikasi pada jumlah di atas nilai tersebut relatif belum dipelajari secara intensif. Berdasarkan hal tersebut maka pada penelitian ini dilakukan aplikasi limbah organik, dalam hal ini limbah sayuran, dalam jumlah berlebih, untuk mendapatkan efek dari perlakuan terhadap pertumbuhan larva lalat tentara hitam, tingkat konsumsi, dan efisiensi proses penguraian limbah sayuran. Pada penelitian ini digunakan sayuran pakcoy sebagai model dari limbah sayuran karena sayuran ini merupakan limbah sayuran paling dominan di lokasi penelitian.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Toksisitas Lingkungan, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung dari bulan Juli hingga September 2015.

Lalat tentara hitam

Larva lalat tentara hitam yang digunakan pada penelitian ini berasal dari budi daya larva lalat tentara hitam di daerah Sumedang dalam bentuk telur. Telur diletakkan pada media yang berupa pakan ayam yang dihaluskan dengan kandungan air $\pm 80\%$ (w/w) sebagai media awal bagi larva. Larva dipelihara pada media ini selama lima hari sebelum diberikan perlakuan pakan berupa limbah sayuran.

Limbah sayuran

Pakan yang diuji adalah limbah sayur pakcoy yang diperoleh dari pedagang sayuran lokal di

daerah Bandung Utara. Rata-rata limbah sayuran pakcoy yang dihasilkan adalah 20–30 kg per hari (observasi mandiri) yang jauh lebih tinggi dari kebutuhan harian penelitian sebesar 5 kg per hari. Sayuran dikumpulkan dari lokasi dan dicuci dengan air mengalir selama 1 menit untuk mengurangi residu insektisida. Sayuran yang telah dicuci selanjutnya dicacah kasar sehingga berukuran rata-rata 1 cm, kemudian diberikan langsung kepada larva yang ditempatkan pada wadah pemeliharaan.

Desain pemberian pakan

Perlakuan dalam percobaan ini adalah variasi laju pemberian pakan, yaitu 200, 300, 400, dan 500 mg/larva/hari. Jumlah larva yang digunakan pada setiap perlakuan adalah 200 individu yang dipelihara dalam wadah plastik berukuran diameter 14 cm dan tinggi 12 cm yang dilapisi dengan plastik hitam, yang diberikan lubang berdiameter 2–3 mm untuk menghindari gangguan cahaya. Wadah plastik ditempatkan pada kandang ber dinding kain kasa dengan ukuran diameter lubang kasa 1 mm (Gambar 1). Jumlah pakan yang diberikan pada setiap perlakuan adalah hasil perkalian dari laju pemberian pakan, jumlah larva per perlakuan, dan waktu pengamatan (dalam hal ini adalah selama 3 hari). Pakan diberikan hingga 50% dari larva mencapai tahapan prapupa (Lalander et al. 2019). Masing-masing perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali.

Sejumlah 10 individu larva dikoleksi setiap 3 hari, terhitung mulai larva usia 5 hari, dan dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 60 °C selama 24 jam untuk menentukan berat kering larva tersebut. Sisa larva dikembalikan pada wadah pemeliharaan dan diberikan pakan berdasarkan jumlah larva yang tersisa. Pengamatan dilakukan sampai seluruh larva mencapai fase prapupa yang ditandai dengan penurunan aktivitas larva dan perubahan warna menjadi lebih gelap.

Pertumbuhan larva

Tingkat pertumbuhan larva dihitung dengan menghitung nilai *specific growth rate* (SGR) berdasarkan persamaan:

$$SGR = \frac{(\ln \text{ berat akhir} - \ln \text{ berat awal})}{(\text{waktu pengamatan})} \times 100\%$$

Penentuan kemampuan konsumsi dan reduksi limbah

Kemampuan larva dalam mengkonsumsi limbah sayuran ditentukan berdasarkan nilai *efficiency of conversion of digested-feed* (ECD) dengan menggunakan persamaan (Scriber & Slansky 1981):

$$ECD = B / I - F$$

$$B = (I - F) - M$$

dengan B: asimilasi makanan yang digunakan untuk pertumbuhan (dihitung sebagai biomassa prapupa); I: total makanan yang diberikan selama penelitian; F: residu yang terdapat pada wadah pemeliharaan (sisa pakan + produk ekskresi); dan M: makanan yang diasimilasikan untuk metabolisme.

Tingkat kemampuan larva dalam mereduksi limbah sayuran dinyatakan dalam bentuk *waste reduction index* (WRI) berdasarkan persamaan:

$$WRI = \frac{(W - R)}{W} \times \frac{1}{t} \times 100\%$$

dengan W: total pakan yang diberikan selama perlakuan; t: waktu pengamatan; dan R: residu pakan yang diberikan.



Gambar 1. Pemeliharaan larva lalat tentara hitam.

Pendugaan jumlah kotoran larva

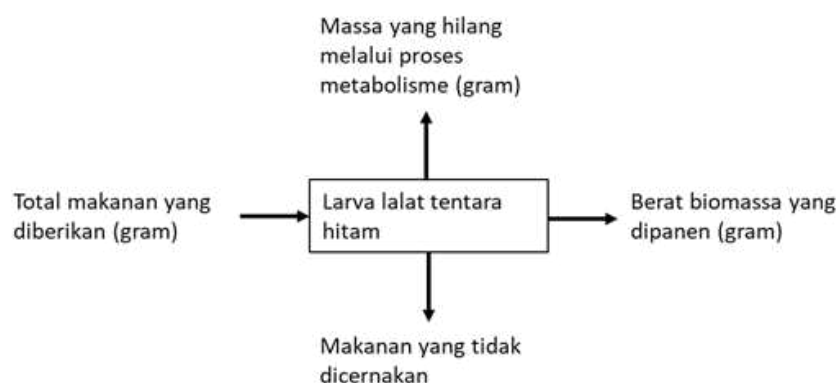
Pada penelitian ini dilakukan pendugaan jumlah kotoran yang dihasilkan oleh larva (*insect frass*) sebagai sisa dari aktivitas pencernaan dengan melakukan pengukuran kandungan asam urat (*uric acid*) pada substrat. Penelitian telah menunjukkan bahwa asam urat adalah komponen utama dari kotoran serangga (Frost & Hunter 2007) dan dengan mengasumsikan bahwa tidak terjadi proses dekomposisi lanjut selama masa pengamatan maka pengukuran ini bertujuan untuk mendapatkan dugaan kasar pola konsumsi limbah sayuran oleh lalat tentara hitam (*Hermetia illucens* (Linnaeus)). Kandungan asam urat pada campuran feses dan sisa pakan diestimasi dengan menggunakan alat uji asam urat dengan merek *Auto-check* yang memberikan dugaan jumlah asam urat dalam skala mg/dl.

Neraca massa penggunaan sumber daya

Neraca massa merupakan salah satu pendekatan yang digunakan dalam merancang sistem produksi biomassa, dan dalam memprediksi efisiensi proses produksi (dalam hal ini proses perubahan limbah organik menjadi biomassa tubuh dan residu). Berdasarkan pendekatan ini, *output* dari total makanan yang diberikan kepada larva dibagi menjadi tiga, yaitu jumlah makanan yang digunakan dalam proses metabolisme untuk menjaga homeostasis larva, jumlah makanan yang diubah menjadi biomassa tubuh, dan jumlah makanan yang tidak dikonsumsi/dicernakan (Gambar 2).

Kualitas produk yang dipanen

Kualitas biomassa larva ditentukan berdasarkan kandungan protein pada larva instar akhir atau prapupa yang diukur dengan menggunakan



Gambar 2. Model neraca massa untuk proses biokonversi limbah organik oleh larva serangga.

metode Kjeldahl berdasarkan kandungan nitrogen pada sampel (Rachmawati et al. 2010). Kandungan senyawa lain selain protein dalam bahan biasanya sangat sedikit maka penentuan jumlah N total ini mewakili jumlah protein yang ada (protein kasar) sehingga disebut kadar protein kasar. Jumlah persentase protein dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\% \text{ Protein} = 6,25 \times \text{kandungan Nitrogen}$$

Analisis data

Perbedaan nilai berat rata-rata larva, SGR, WRI, ECD, dan jumlah protein pada setiap tahapan metamorfosis, dari setiap perlakuan, diuji menggunakan analisis *one-way* ANOVA dengan tingkat signifikansi $P < 0,05$. Apabila terdapat perbedaan yang nyata di antara perlakuan, analisis statistik dilanjutkan dengan uji Tukey HSD. Semua analisa dilakukan menggunakan *software* SPSS 25.0.

HASIL

Laju pertumbuhan larva *H. illucens*

Tidak terdapat perbedaan pada waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tahapan prapupa, yaitu berkisar pada 21 hari (Tabel 1). Kelompok larva yang mendapatkan pakan dalam jumlah 200 mg/larva/hari menghasilkan bobot akhir larva 52,87

$\pm 1,19$ mg, dan secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan kelompok lain (Tukey HSD, $P = 0,0062$). Kelompok larva yang mendapatkan pakan dalam jumlah 300 mg/larva/hari memiliki rata-rata bobot akhir larva $59,21 \pm 3,57$ mg, dan tidak berbeda signifikan dengan nilai pada kelompok larva yang mendapatkan pakan dalam jumlah 400 dan 500 mg/larva/hari (Tabel 1). Hasil serupa juga ditunjukkan pada nilai *specific growth rate* (SGR), yakni secara signifikan lebih rendah pada larva dengan tingkat pemberian pakan 200 mg/larva/hari dibandingkan dengan perlakuan yang lain (Tabel 1).

Kandungan protein pada biomassa dari setiap tahapan metamorfosis

Berdasarkan analisis terdapat perbedaan pada kandungan protein pada berbagai tahapan metamorfosis lalat tentara hitam. Lalat dewasa memiliki kandungan protein yang nyata lebih rendah dibandingkan dengan stadium larva (rata-rata 15% lebih rendah) dan prapupa (10–14% lebih rendah). Pola ini ditemukan pada seluruh kelompok perlakuan. Peningkatan pemberian pakan meningkatkan kandungan protein pada setiap tahap metamorfosis (Tabel 1).

Efisiensi konversi pakan menjadi biomassa

Tingkat efisiensi konversi pakan menjadi biomassa diukur berdasarkan nilai ECD. Pada

Tabel 1. Kandungan protein pada berbagai tahapan metamorfosis dari *Hermetia illucens* dan kandungan asam urat pada residu dengan laju pemberian pakan (200, 300, 400, dan 500 mg/larva/hari)

	Jumlah pemberian pakan harian (mg/larva/hari)			
	200	300	400	500
Waktu mencapai prapupa (hari)	21	21	21	21
Rata-rata berat akhir larva (mg)	$52,87 \pm 1,20$ a	$59,21 \pm 3,57$ b	$57,48 \pm 2,5$ b	$58,29 \pm 0,44$ b
<i>Specific growth rate</i> (% per hari)	$20,58 \pm 0,15$ a	$21,21 \pm 0,05$ b	$21,05 \pm 0,02$ b	$21,13 \pm 0,06$ b
Tahapan metamorfosis	Kandungan protein (%) pasca pemberian pakan dengan konsentrasi tertentu			
Larva (N = 100)	$45,89 \pm 1,32$ a	$46,34 \pm 1,19$ a	$46,12 \pm 1,51$ a	$46,58 \pm 1,08$ a
Prapupa (N = 100)	$44,31 \pm 0,93$ a	$44,86 \pm 1,45$ a	$45,13 \pm 1,24$ a	$45,24 \pm 1,31$ a
Dewasa (N = 100)	$38,81 \pm 1,27$ b	$40,46 \pm 1,32$ b	$40,49 \pm 0,87$ b	$40,67 \pm 1,19$ b
<i>Waste reduction index</i>				
Penelitian ini	$15,809 \pm 0,062$ a	$10,958 \pm 0,035$ b	$8,186 \pm 0,029$ c	$6,589 \pm 0,008$ d

Huruf berbeda menunjukkan perbedaan signifikan dengan derajat kepercayaan $P = 0,05$ menggunakan uji *one-way* ANOVA dan uji lanjut Tukey HSD.

penelitian ini didapatkan nilai ECD yang relatif berbeda tipis antar perlakuan antara 45,09% dan 48,40%, walaupun perlakuan dengan nilai pada perlakuan 200 mg/larva/hari secara signifikan memiliki nilai lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan lain (Tukey HSD, $P < 0,001$) (Gambar 3A).

Perhitungan neraca massa penggunaan dari makanan oleh larva serangga menunjukkan bahwa proporsi limbah sayur yang digunakan untuk pembentukan prapupa sebesar 11,96–29,36%, jumlah limbah sayur yang menjadi residu sebesar 57,89–82,55% dan jumlah limbah sayur yang dimetabolisme sebesar 5,50–12,75% (Gambar 3B).

Tingkat penurunan biomasa sampah

Pengamatan pada penurunan biomassa sampah menunjukkan bahwa tingkat penurunan tertinggi dicapai saat laju pemberian pakan adalah 200 mg/larva/hari dengan nilai WRI adalah 15,809

dan terdapat perbedaan signifikan untuk setiap perlakuan (Tukey HSD, $P = 0,05$) (Tabel 1).

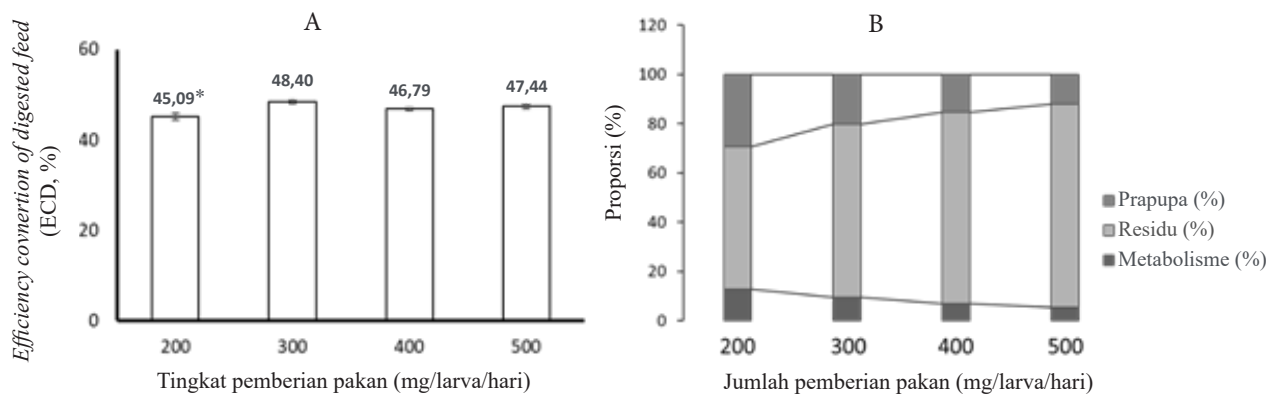
Kandungan asam urat pada residu

Hasil uji kandungan asam urat pada substrat menunjukkan nilai 5,9–6,25 mg/dl yang berbanding lurus dengan tingkat pemberian pakan (Gambar 4). Nilai kenaikan kandungan asam urat mulai menurun pada tingkat pemberian pakan 400–500 mg/larva/hari yang mengindikasikan batas maksimum kemampuan larva dalam mencernakan makanan.

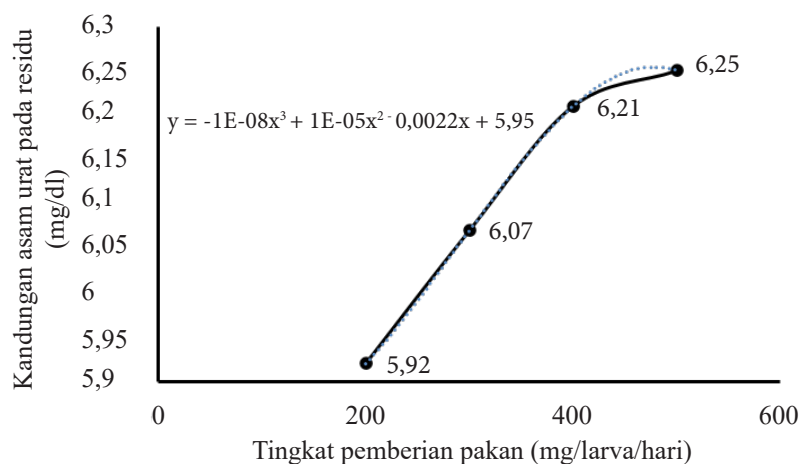
PEMBAHASAN

Pertumbuhan larva *H. illucens*

Apabila dibandingkan dengan beberapa penelitian lain yang telah dilakukan, waktu perkembangan larva menuju prapupa lebih lama



Gambar 3. A: Nilai *Efficiency covnertion of digested feed* (ECD) dan B: neraca masa proses biokonversi limbah sayuran oleh larva *Hermetia illucens* dengan berbagai laju pemberian pakan (200, 300, 400, dan 500 mg/larva/hari). *: berbeda signifikan dengan derajat kepercayaan $P = 0,05$.



Gambar 4. Kandungan asam urat pada substrat dengan laju pemberian pakan (200, 300, 400, dan 500 mg/larva/hari).

dibandingkan dengan larva yang mendapatkan pakan berupa pakan terformulasi untuk hewan (seperti pakan ayam dan anjing) (Tabel 2). Di sisi lain, rata-rata waktu perkembangan larva menjadi prapupa lebih pendek atau setara dengan hasil penelitian yang menggunakan limbah organik berbasis tumbuhan sebagai pakan lalat tentara hitam.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa pemberian pakan dalam jumlah yang berlebih tidak berkorelasi positif terhadap peningkatan waktu perkembangan larva. Secara umum, proses pertumbuhan dan perkembangan larva serangga dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pertama, ketersediaan pakan dan kemudahan dalam mengakses pakan tersebut karena terkait dengan perubahan keseimbangan antara hormon juvenil dan *ecdysone* yang berperan besar dalam proses metamorfosis (Banks et al. 2014; Parra Paz et al. 2015). Kedua, beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa komposisi protein dan karbohidrat merupakan nutrisi penting dalam pertumbuhan, reproduksi, dan kelulushidupan larva serangga (Cammack & Tomberlin 2017; Barragan-Fonseca et al. 2017, 2018, 2019; Danieli et al. 2019). Berdasarkan USDA (2021), komposisi perbandingan karbohidrat dengan protein pada

pakcoy mendekati 1 (1,53 : 1,05) yang merupakan nilai ideal bagi pertumbuhan larva lalat tentara hitam (Barragan-Fonseca et al. 2019).

Hal lain yang menarik adalah terkait dengan bobot prapupa. Periode perkembangan pada hewan berkaitan erat dengan waktu yang dibutuhkan oleh hewan untuk mencapai batas pertumbuhan, seperti bobot tubuh tertentu pada larva serangga yang dikenal dengan istilah *critical weight* (Nijhout et al. 2014). Penelitian ini menunjukkan bahwa bobot prapupa jauh lebih rendah (52,87–59,21 gram) dibandingkan dengan hasil penelitian pembandingan yang mengindikasikan terdapat faktor lain yang memberikan pengaruh terhadap pembentukan pupa (Tabel 2). Hal ini kemungkinan berkaitan dengan pemberian pakan dalam jumlah besar memungkinkan larva untuk mengakumulasi nutrisi (terutama protein) yang mempengaruhi keseimbangan hormon terkait dengan proses pembentukan pupa (Lalander et al. 2019). Hal lain yang dapat menjelaskan perbedaan dalam waktu perkembangan adalah terkait dengan kondisi lingkungan, seperti suhu udara (Rachmawati et al. 2010; Shumo et al. 2019), tingkat cahaya (Zhang et al. 2010; Heussler et al. 2018), dan kelembaban substrat (Holmes et al. 2013) yang mungkin dapat ditelaah pada penelitian selanjutnya.

Tabel 2. Perbandingan waktu perkembangan larva dan berat prapupa pada penelitian dengan penelitian lain

Referensi	Substrat	Waktu perkembangan (hari)	Berat prapupa (mg)	Jumlah pemberian pakan (mg/larva/hari)
Penelitian ini	Sayuran	21	52,87–59,21	200–500
Li et al. (2011)	Kotoran ternak	31		
Gobbi et al. (2013)	Sisa daging	33		
	Makanan ayam	15		
Manurung et al. (2016)	Jerami	38–52	-	12,5–200
Supriyatna et al. (2016)	Kulit singkong	20–54		12,5–200
Meneguz et al. (2018a)	Campuran sayuran dan buah	20	148 ± 10	500
	Buah	22	120 ± 9	
Kinasih et al. (2018)	Sayuran	23	50–150	12,5–200
	Ampas tahu	23		
	Kotoran ternak	23		
	Makanan ayam	21	90–150	
Lalander et al. (2019)	Makanan ayam	16	251 ± 6	40
	Makanan anjing	18	252 ± 6	
	Sisa makanan	19	212 ± 6	
	Buah dan sayuran	28	218 ± 4	
	Kotoran ayam	19	164 ± 14	
	Kotoran manusia	19	245 ± 5	

Efisiensi proses biokonversi

Apabila dibandingkan dengan penelitian lainnya (Tabel 3), tingkat palatabilitas (yang diukur berdasarkan efisiensi konversi) pakan yang diberikan sesuai untuk larva lalat tentara hitam baik dalam hal struktur, kelimpahan protein, dan komposisi nutrisi (Lundy & Parella 2015), terutama bila dikaitkan dengan kandungan nitrogen (N) yang merupakan unsur yang lebih efisien untuk dikonversi menjadi biomassa tubuh (Oonincx et al. 2019).

Hasil studi ini mengindikasikan bahwa peningkatan ketersediaan pakan dalam media pertumbuhan larva berkontribusi dalam penurunan tingkat efisiensi konsumsi larva yang ditunjukkan dengan tingkat reduksi pakan. Hal ini dapat berkaitan dengan keberadaan pakan yang mudah dicerna dalam jumlah melimpah kemungkinan dapat meningkatkan kecepatan konsumsi yang menurunkan waktu kontak antara enzim dan substrat sehingga menurunkan efisiensi dalam pemanfaatan makanan (Barton-Browne & Raubenheimer 2003).

Penurunan pada efisiensi konversi pakan ini lebih lanjut ditunjukkan oleh analisis neraca massa yang menunjukkan bahwa peningkatan jumlah pakan yang diberikan justru menurunkan proporsi pakan yang digunakan untuk pertumbuhan dan metabolisme. Hasil penelitian ini menunjukkan

bahwa peningkatan pemberian pakan cenderung akan menghasilkan produk berupa pupuk organik dibandingkan dengan biomassa serangga.

Penelitian ini juga menunjukkan adanya batas kemampuan larva *H. illucens* dalam mencerna makanan dengan nilai 400 mg/larva/hari, yang kemungkinan merupakan batas atas daya konsumsi larva terhadap substrat yang diberikan berdasarkan dugaan jumlah feses yang dihasilkan. Hal ini menjadi faktor pembatas penting terutama terkait dengan upaya untuk mendapatkan *insect frass*, sebagai salah satu sumber *nutrient* alternatif bagi tanaman produksi (Kagata & Ohgushi 2012). Walaupun demikian, hal ini perlu dibuktikan lebih lanjut dengan densitas larva yang berbeda karena beberapa penelitian menunjukkan dampak penting kerapatan larva terhadap tingkat konsumsi pada kelompok lalat (Barragan-Fonseca et al. 2018; Morimoto et al. 2019).

Kualitas produk yang dihasilkan oleh proses biokonversi

Analisa kandungan protein biomassa tubuh lalat tentara hitam pada penelitian ini menunjukkan bahwa kandungan protein kasar pada serangga dewasa lebih rendah dibandingkan dengan larva dan prapupa. Di sisi lain, peningkatan jumlah pakan yang diberikan memberikan pengaruh positif terhadap kandungan protein kasar pada

Tabel 3. Perbandingan kemampuan konsumsi (ECD) dan konversi (WRI) limbah organik oleh lalat tentara hitam dengan penelitian lain

Referensi	Substrat	Efficiency of conversion of digested feed (ECD), %	Waste reduction index (WRI)	Jumlah pemberian pakan (mg/larva/hari)
Penelitian ini	Sayuran	14,46–44,98	0,83–2,01	200–500
Manurung et al. (2016)	Jerami	5,69–10,85	0,24–0,58	12,5–200
Abduh et al. (2017a)	Buah Pandan duri (<i>Pandanus tectorius</i>)	6,3–27,4	-	25–100
Abduh et al. (2017b)	Biji karet	12,5–25,9	-	68
Kinasih et al. (2018)	Sayuran			
	Ampas tahu	20–50	-	12,5–200
	Kotoran ternak			
	Makanan ayam			
Bava et al. (2019)	Makanan ayam	27 ± 2	4,46 ± 0,36	Ad libitum
	Ampas tahu (Okara)	27 ± 2	4,90 ± 0,07	
	Sisa penyulingan jagung	36 ± 2	3,22 ± 0,21	
	Sisa produksi bir	25 ± 1	3,01 ± 0,06	

biomassa, walaupun tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Hasil penelitian ini berbeda dengan laporan terkait dengan kandungan protein pada biomassa tubuh yang pada berbagai penelitian terkait pemberian pakan tertentu pada larva lalat tentara hitam. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan pada kandungan nutrisi pada pakan dan kondisi lingkungan pemeliharaan yang dapat terkait dengan tingkat akumulasi dari makromolekul terutama protein (Liu et al. 2017; Barragan-Fonseca et al. 2018).

KESIMPULAN

Pemberian pakan dalam jumlah berlebih tidak memberikan dampak yang nyata terhadap laju pertumbuhan dan perkembangan larva lalat tentara hitam (*H. illucens*), termasuk terhadap kandungan proteinnya. Dalam pemanfaatan serangga ini sebagai agens pengurai limbah organik pada lahan terbatas, sebaiknya memperhatikan faktor-faktor pembatas ini dalam merancang pola pemberian pakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Agus Pakpahan yang telah mendukung penelitian ini dengan menyediakan telur dan informasi seputar metoda pemeliharaan larva. Penelitian ini sebagian dibiayai oleh program Riset dan Inovasi ITB tahun 2014 yang diterima oleh penulis koresponden.

DAFTAR PUSTAKA

- Abduh MY, Manurung R, Faustina A, Affanda E, Siregar IRH. 2017a. Bioconversion of *Pandanus tectorius* using black soldier fly larvae for the production of edible oil and protein-rich biomass. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 5:803–809.
- Abduh MY, Jamilah M, Istiandari P, Syaripudin, Manurung R. 2017b. Bioconversion of rubber seeds to produce protein and oil-rich biomass using black soldier fly larva assisted by microbes. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 5:591–597.
- Badan Pusat Statistik. 2011. Statistik Pertanian. Jakarta: BPS.
- Bahrin, Herliana O. 2019. Pemanfaatan limbah pasar sebagai pakan pada kelompok ternak dan diversifikasi produk olahan entok guna meningkatkan pendapatan masyarakat Desa Wanadadi Banjarnegara. *SAKAI SABAYAN–Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat* 3:7–12.
- Banks I, Gibson W, Cameron M. 2014. Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faeces and their implication for improving sanitation. *Tropical Medicine and International Health* 19:14–22. doi: <https://doi.org/10.1111/tmi.12228>.
- Barragan-Fonseca KB, Dicke M, van Loon JJA. 2017. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) 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>.
- Barragan-Fonseca KB, Dicke M, van Loon JJA. 2018. Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Entomologia Experimentalis et Applicata* 166:761–770. doi: <https://doi.org/10.1111/eea.12716>.
- Barragan-Fonseca KB, Gort G, Dicke M, van Loon JJA. 2019. Effects of dietary protein and carbohydrate on life-history traits and body protein and fat contents of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Physiological Entomology* 44:148–159. doi: <https://doi.org/10.1111/phen.12285>.
- Barton-Browne L, Raubenheimer D. 2003. Ontogenetic changes in the rate of ingestion and estimates of food consumption in fourth and fifth instar *Helicoverpa armigera* caterpillars. *Journal of Insect Physiology* 49:63–71. doi: [https://doi.org/10.1016/s0022-1910\(02\)00247-0](https://doi.org/10.1016/s0022-1910(02)00247-0).
- Bava L, Jucker C, Gislon G, Lupi D, Savoldelli S, Zucali M, Colombini S. 2019. Rearing of *Hermetia Illucens* on different organic by-products: influence on growth, waste reduction, and environmental impact. *Animals* 9:289. doi: <https://doi.org/10.3390/ani9060289>.
- Bonelli M, Bruno D, Brilli M, Gianfranceschi N, Tian L, Tettamanti G, Caccia S, Casartelli M. 2020. Black soldier fly larvae adapt to different food substrate through morphological and functional responses of the midgut.

- International Journal of Molecular Sciences* 21:4955. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms21144955>.
- Cammack JA, Tomberlin JK. 2017. The impact of diet protein and carbohydrate on select life-history traits of the black soldier fly *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Insects* 8:56. doi: <https://doi.org/10.3390/insects8020056>.
- Choi YC, Choi JY, Kim JG, Kim MS, Kim WT, Park KH, Bae SW, Jeong GS. 2009. Potencial usage of food waste as a natural fertilizer after digestion by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *International Journal of Industrial Entomology* 19:171–174.
- Danieli PP, Lussiana C, Gasco L, Amici A, Ronchi B. 2019. The effects of diet formulation on the yield, proximate composition, and fatty acid profile of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prapupae intended for animal feed. *Animals* 9:178. doi: <https://doi.org/10.3390/ani9040178>.
- Diener S, Studt Solano NM, Roa Gutierrez F, Zurburugg C, Tockner K. 2011. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste Biomass Valorization* 2:357–363. doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1>.
- Fonseca KBB, Dicke M, van Loon JJA. 2018. Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Entomologia Experimentalis et Applicata* 166:761–770. doi: <https://doi.org/10.1111/eea.12716>.
- Frost CJ, Hunter MD. 2007. Recycling of nitrogen in herbivore feces: Plant recovery, herbivore assimilation, soil retention, and leaching losses. *Oecologia* 151:42–53. doi: <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0579-9>.
- Gobbi P, Martinze-Sanchez A, Rojo S. 2013. The effects 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>.
- Harnden LM, Tomberlin JK. 2016. Effects of temperature and diet on black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), development. *Forensic Science International* 266:109–116. doi: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.05.007>.
- Heussler CD, Walter A, Oberkofler H, Insam H, Arthofer W, Schlick-Steiner BC, Steiner FM. 2018. Influence of three artificial light sources on oviposition and half-life of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Improving small-scale indoor rearing. *PLoS ONE* 13:e0197896. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197896>.
- Holmes LA, Vanlaerhoven SL, Tomberlin JK. 2013. Substrate effects on pupation and adult emergence of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental Entomology* 42: 370–374. doi: <https://doi.org/10.1603/EN12255>.
- 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 Biosciences* 25:79–84. doi: <https://doi.org/10.4308/hjb.25.2.79>.
- Kagata H, Ohgushi T. 2012. Positive and negative impacts of insect frass quality on soil nitrogen availability and plant growth. *Population Ecology* 54:75–82. doi: <https://doi.org/10.1007/s10144-011-0281-6>.
- Lalander C, Nordberg A, Vinneras B. 2018. A comparison in product-value potential in four treatment strategies for food waste and faeces – assessing composting, fly larvae composting and anaerobic digestion. *Global Change Biology: Bioenergy* 10:84–91. doi: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12470>.
- Lalander C, Diener S, Zurburugg C, Vinneras B. 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>.
- Larasati AA, Puspikawati SI. 2019. Pengolahan sampah sayuran menjadi kompos dengan metoda Takakura. *Jurnal Ikesma* 15:60–68.
- Lei XJ, Kim TH, Park JH, Kim IH. 2019. Evaluation of supplementation of defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in beagle dogs. *Annals of Animal Science* 19:767–777. doi: <https://doi.org/10.2478/aoas-2019-0021>.
- Li Q, Zheng L, Cai H, Garza E, Yu Z, Zhou S. 2011. From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. *Fuel* 90:1545–1548. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.11.016>.
- Li S, Ji H, Zhang B, Tian J, Zhou J, Yu H. 2016. Influence of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae oil on growth performance, body composition, tissue fatty acid composition and lipid deposition in juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian). *Aquaculture*

- 465:43–52. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.020>.
- Liu X, Chen X, Wang H, Yang Q, ur Rehman K, Li W, Li Q, Mazza L, Zhang J, Yu Z, Zheng L. 2017. Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLoS One* 12:e0182601. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>.
- Liu C, Wang C, Yao H. 2019. Comprehensive resource utilization of waste using the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae). *Animals* 9:349. doi: <https://doi.org/10.3390/ani9060349>.
- Lundy ME, Parrella MP. 2015. Crickets are not a free lunch: Protein capture from scalable organic side-streams via high-density populations of *Acheta domesticus*. *PLoS One* 10:e0118785. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118785>.
- Manurung R, Supriyatna A, Esiyanti RR, Putra RE. 2016. Bioconversion of rice straw waste by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.): Optimal feed rate for biomass production. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 4:1036–1041.
- Meneguz M, Gasco L, Tomberlin JK. 2018a. Impact of pH and feeding system on black soldier fly (*Hermetia illucens*, L.; Diptera: Stratiomyidae) larval development. *PLoS One* 13:e0202591. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202591>.
- Meneguz M, Schiavone A, Gai F, Dama A, Lussiana C, Renna M, Gasco L. 2018b. Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98:5776–5784. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9127>.
- Morimoto J, Nguyen B, Dinh H, Than AT, Taylor PW, Ponton F. 2019. Crowded developmental environment promotes adult sex-specific nutrient consumption in a polyphagous fly. *Frontiers in Zoology* 16:4. doi: <https://doi.org/10.1186/s12983-019-0302-4>.
- Natawijaya D, Meylani V. 2020. Analisis struktur sampah dan komposisi kimia limbah cair (leachate) di tempat pengolahan sampah akhir (TPSA) Ciangir kota Tasikmalaya. *Media Pertanian* 5:1–9.
- Ndegwa PM, Thompson SA. 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource Technology* 76:107–112. doi: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00104-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00104-8).
- Nijhout HF, Riddiford LM, Mirth C, Shingleton AW, Suzuki Y, Callier V. 2014. The developmental control of size in insects. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology* 3:113–134. doi: <https://doi.org/10.1002/wdev.124>.
- Nyakeri EM, Ayieko MA, Amimo FA, Salum H, Ogola HJO. 2019. An optimal feeding strategy for black soldier fly larvae biomass production and faecal sludge reduction. *Journal of Insects as Food and Feed* 5:201–2013. doi: <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0017>.
- Ooninx DGAB, van Broekhoven S, van Huis A, van Loon JJA. 2019. Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS One* 14:e0222043. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222043>.
- Pang W, Hou D, Chen J, Nowar EE, Li Z, Hu R, Tomberlin JK, Yu Z, Li Q, Wang S. 2020. Reducing greenhouse gas emissions and enhancing carbon and nitrogen conversion in food wastes by the black soldier fly. *Journal of Environmental Management* 260:110066. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110066>.
- Parra Paz AS, Carrejo NS, Rodriguez CHG. 2015. Effects of larval density and feeding rates on the bioconversion of vegetable waste using black soldier fly larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae). *Waste and Biomass Valorization* 6:1059–1065. doi: <https://doi.org/10.1007/s12649-015-9418-8>.
- Rachmawati, Buchori D, Hidayat P, Hem S, Fahmi MR. 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>.
- Ramos-Elorduy J, González EA, Hernández AR, Pino JM. 2002. Use of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) to recycle organic wastes and as feed for broiler chickens. *Journal of Economic Entomology* 95:214–220. doi: <https://doi.org/10.1603/0022-0493-95.1.214>.
- Renna M, Schiavone A, Gai F, Dabbou S, Lussiana C, Malfatto V, Prearo M, Capucchio MT, Biasato I, Biasibetti E, De Marco M, Brugiapaglia A, Zoccarato I, Gasco L. 2017. Evaluation of the suitability of a partially defatted black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae meal as ingredient for rainbow

- trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum) diets. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8:57. doi: <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0191-3>.
- Schiavone A, Cullere M, De Marco M, Meneguz M, Biasato I, Bergagna S, Dezutto D, Gai F, Dabbou S, Gasco L, Zotte AD. 2017. Partial or total replacement of soybean oil by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) fat in broiler diets: effect on growth performances, feed-choice, blood traits, carcass characteristics and meat quality. *Italian Journal of Animal Science* 16:93–100. doi: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1249968>.
- Scriber JM, Slansky F. 1981. The nutritional ecology of immature insects. *Annual Review of Entomology* 26:183–211. doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.en.26.010181.001151>.
- Shumo M, Khamis FM, Tanga CM, Fiaboe KKM, Subramanian S, Ekesi S, van Huis A, Borgemeister C. 2019. Influence of temperature on selected life-history traits of black soldier fly (*Hermetia illucens*) reared on two common urban organic waste streams in Kenya. *Animals* 9:79. doi: <https://doi.org/10.3390/ani9030079>.
- Supriyatna A, Manurung R, Esyanthi RR, Putra RE. 2016. Growth of black soldier larvae fed on cassava peel wastes, an agriculture waste. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 4:161–165.
- United States Departement of Agriculture (USDA). 2021. Tersedia pada: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170390/nutrients>. [diakses 6 Mei 2021].
- Wang H, Wang SY, Li HY, Wang B, Zhou QS, Zhang XM, Li J, Zhang ZJ. 2016. Decomposition and humification of dissolved organic matter in swine manure during housefly larvae composting. *Waste Management & Research* 34:465–473. doi: <https://doi.org/10.1177/0734242X16636675>.
- Zhang J, Huang, L, He J, Tomberlin JK, Li J, Lei C, Sun M, Liu Z, Yu Z. 2010. An artificial light source influences mating and oviposition of black soldier flies, *Hermetia illucens*. *Journal of Insect Science* 10:202. doi: <https://doi.org/10.1673/031.010.20201>.
- Zheng L, Li Q, Zhang J, Yu Z. 2011. Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production. *Renewable Energy* 41:75–79. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.10.004>.