

Kinerja Pertumbuhan Larva Lalat Tentara Hitam *Hermetia illucens* Linnaeus (Diptera: Stratiomyidae) pada Substrat Kulit Ari Kedelai dan Kulit Pisang

Agus Dana Permana¹, Agus Susanto^{2*}, dan Fahri Rijal Giffari¹

¹Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung.
Jl. Ganesa No. 10, Bandung Jawa Barat Indonesia 40132

²Departemen Hama dan Penyakit Tumbuhan, Fakultas Pertanian,
Universitas Padjadjaran

Jl. Raya Bandung-Sumedang KM 21 Jatinangor Jawa Barat Indonesia 45363

*Alamat Korespondensi: a.susanto@unpad.ac.id

INFO ARTIKEL	ABSTRACT/ABSTRAK
Diterima: 21-10-2021 Direvisi: 27-01-2022 Dipublikasi: 29-04-2022	Growth Performance of Black Soldier Fly Larvae <i>Hermetia illucens</i> Linnaeus (Diptera: Stratiomyidae) on Soybean and Banana Peels Substrates
Keywords: Bio converter, Efficiency of conversion of digested feed, Waste reduction index	The black soldier fly (BSF) <i>Hermetia illucens</i> is a bio converter insect capable of converting various types of organic waste into larval biomass which can be utilized, one of which is as animal feed. The purpose of this study was objected to determine the growth and yield of BSF larvae biomass grown on soybean husk and banana peels waste. The experiment consisted of six treatments tested of fermented and non-fermented of three substrates including soybean husk, banana peels, and chicken feed as control. The observation was carried out every day with the measured bioconversion parameters including the level of substrate consumption (D), waste reduction index (WRI), efficiency of conversion of digested feed (ECD), development time and duration of feeding, survival rate, prepupae biomass, and sex ratio. The results showed that the WRI values on soybean husks (whether fermented or not) were not significantly different with the control ($P>0.05$). BSF larvae fed with banana peels had the highest ECD value, at 37.58%. Meanwhile, larvae fed with fermented chicken feed resulted from the highest prepupa biomass weighted 32.6 mg. Based on the results of this study, it can be concluded that soybean husk had the same effect as chicken feed on the growth performance of BSF larvae.
Kata Kunci: Biokonverter, Efisiensi konversi pakan yang dicerna, Indeks reduksi limbah	Lalat tentara hitam atau <i>Black Soldier Fly</i> (BSF) <i>Hermetia illucens</i> merupakan serangga biokonverter yang mampu mengubah berbagai jenis sampah organik menjadi biomassa larva yang dapat dimanfaatkan salah satunya sebagai pakan ternak. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pertumbuhan dan hasil biomassa larva BSF yang ditanam pada limbah kulit ari kedelai dan kulit pisang. Percobaan terdiri dari enam perlakuan yang diuji yaitu fermentasi dan non-fermentasi dari tiga substrat yaitu kulit ari kedelai, kulit pisang, dan pakan ayam sebagai kontrol. Pengamatan dilakukan setiap hari dengan parameter kinerja pertumbuhan yang terukur meliputi tingkat konsumsi substrat (D), indeks pengurangan limbah (WRI), efisiensi konversi pakan yang dicerna (ECD), waktu pengembangan dan durasi makan, tingkat kelangsungan hidup, prapupa biomassa, dan rasio jenis kelamin. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa nilai WRI pada sekam kedelai (difermentasi atau tidak) tidak berbeda nyata dengan pakan ayam (kontrol) ($P>0,05$). Larva BSF yang diberi makan kulit pisang memiliki nilai ECD tertinggi, yaitu 37,58%. Sedangkan larva yang diberi pakan ayam fermentasi menghasilkan bobot biomassa prapupa tertinggi, yaitu 32,6 mg. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kulit ari kedelai memiliki pengaruh yang sama dengan pakan ayam terhadap kinerja pertumbuhan larva BSF.

PENDAHULUAN

Pengolahan limbah organik di Indonesia telah banyak dilakukan, salah satunya dengan memanfaatkan serangga pengurai. *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) atau dikenal sebagai lalat tentara hitam (*Black Soldier Fly*/BSF), merupakan salah satu organisme yang mampu mengubah berbagai macam limbah organik menjadi biomassa larva dan pupa yang dapat dimanfaatkan. BSF berasal dari wilayah neotropik dan saat ini banyak ditemukan hampir di seluruh dunia dan menyebar baik melalui manusia maupun secara alami (Callan, 1974; Marshall *et al.*, 2015). Jenis-jenis limbah yang dapat dikonsumsi oleh larva BSF telah banyak dilaporkan para peneliti, seperti limbah pertanian (Manurung *et al.*, 2016; Supriyatna *et al.*, 2016), sisa-sisa hewan yang telah membusuk (Tomberlin *et al.*, 2005), sisa makanan (Diener *et al.*, 2011; Nguyen *et al.*, 2013; Oonincx *et al.*, 2015), dan kotoran hewan (Xiao *et al.*, 2018), dan kotoran manusia (Pujol-Luz *et al.*, 2008). Selain sebagai biokonverter, larva BSF dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan hewan ternak (Mutafela, 2015), bahkan berpotensi sebagai sumber untuk biodiesel (Zheng *et al.*, 2012).

Penggunaan serangga sebagai agen biokonverter yang membantu dalam mengolah limbah organik memberikan daya tarik yang tinggi karena menghasilkan produk yang bernilai (Čičková *et al.*, 2015). Serangga ini telah banyak dikembangkan karena potensi dan manfaatnya yang tinggi di berbagai bidang terutama untuk kebutuhan protein hewan ternak unggas dan ikan. Larva BSF dapat diperbanyak di berbagai macam jenis substrat dengan menghasilkan hasil konversi limbah organik yang efisien dan cepat, menjadi biomassa berprotein tinggi (40% dari berat kering) dan berlemak tinggi (30% dari berat kering) (Sheppard *et al.*, 1994; Newton *et al.*, 2005). Hal ini membuat larva BSF sangat cocok sebagai pakan hewan (Newton *et al.*, 1977; St-Hillaire *et al.*, 2007; Stamer, 2015) dan sisanya (residu hasil proses perbanyakan) dapat dimanfaatkan sebagai pupuk

yang baik pengganti serabut kelapa komersil untuk tanaman di dalam pot (Sheppard *et al.*, 1994; Setti *et al.*, 2019).

Limbah organik yang berpotensi sebagai pakan larva BSF adalah kulit ari kedelai dan kulit pisang. Kulit ari kedelai pada umumnya dimanfaatkan sebagai sumber pakan hewan ternak (Salundik dkk., 2012), demikian juga kulit pisang yang biasanya menjadi limbah organik yang tidak bermanfaat (Salimi & Payu 2019). Masyarakat masih kurang memanfaatkan kulit kedelai dan kulit pisang, sementara itu kedua limbah ini sangat mudah diperoleh dan memiliki harga yang relatif murah. Kulit ari kedelai dilaporkan memiliki kandungan protein sebesar 18,91% dan lemak sebesar 10,41% (Salundik dkk. 2012). Kulit ari kedelai memiliki kandungan lignin yang rendah (Zulkifliani dkk., 2017), sehingga memudahkan hidrolisis selulosa dan hemiselulosa di dalam pencernaan larva BSF.

Larva BSF tidak memiliki enzim pendegradasi lignin di dalam ususnya, sehingga substrat dengan kandungan lignoselulosa yang tinggi akan menyulitkan larva untuk mencerna substrat tersebut (Kim *et al.*, 2011). Kulit pisang memiliki komposisi yang terdiri dari protein kasar 5,92%, serat kasar 20,96% dan lemak kasar sebesar 16,67% (Murphi, 1994). Kulit pisang juga dilaporkan memiliki kandungan lignin sebesar 5-10% (Novianti & Setyowati, 2016). Oleh karena itu, kandungan lignin yang tinggi pada substrat pakan BSF dapat diatasi dengan cara fermentasi menggunakan EM4 (Effective Microorganism-4). EM4 dilaporkan mengandung bakteri fotosintetik, *Lactobacillus* sp., *Streptomyces* sp., actinomycetes, dan ragi yang memiliki kemampuan mendegradasi lignin dan memecah ikatan lignin dan selulosa (Binta dkk., 2013). Penggunaan EM4 juga dianggap praktis, mudah didapat, aplikatif, dan murah (Binta dkk., 2013).

Pemberian pakan terhadap larva serangga merupakan salah satu faktor penentu utama dalam perbanyakan serangga pada kondisi laboratorium (Pinilla *et al.*, 2013). Beberapa penelitian

sebelumnya menunjukkan bahwa jenis pakan yang diberikan terhadap larva dapat memengaruhi perkembangan, produktivitas, sifat sejarah hidup (*life-history traits*), dan komposisi kimiawi di dalam biomassa (Giffari dkk., 2021; Tomberlin *et al.*, 2002; Oonincx *et al.*, 2015; Tschirner & Simon, 2015; Cammack & Tomberlin, 2017). Diener *et al.* (2009) melaporkan bahwa tingkat makan (*feeding rate*) larva BSF yang diberi pakan ayam 100 mg/larva (60% kelembapan), dianggap optimum dengan efisiensi reduksi pakan sebesar 41,8% dan produksi biomassa berat kering pupa sebesar 48,0 mg. Ulloa *et al.* (2004) melaporkan bahwa larva BSF memiliki tingkat makan dengan menggunakan *green banana* yaitu sebesar 103 mg/larva/hari. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi kemampuan larva BSF dalam mengonversi kulit ari kedelai dan kulit pisang yang sampai saat ini belum pernah dilakukan dan mengetahui efek substrat kulit ari kedelai dan kulit pisang terhadap kinerja pertumbuhan, dengan parameter penelitiannya yaitu persentase tingkat keberhasilan hidup, waktu perkembangan, berat prapupa, kandungan prapupa, dan rasio kelamin serangga dewasa.

BAHAN DAN METODE

Lalat Tentara Hitam *H. illucens*

Larva BSF diperoleh dari populasi yang dikembangkan sejak tahun 2017 di Laboratorium Toksikologi Lingkungan, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung. Kondisi fisik penelitian adalah: temperatur 18-28 °C, kelembapan relatif 55-90%, dan periode waktu pencahayaan 12:12 jam terang:gelap.

Larva yang telah dikoleksi dipelihara di wadah baki plastik dan diberikan makanan butiran pakan ayam komersil. Larva dipelihara sampai dewasa di dalam kandang berukuran 50×50×50 cm dan dilapisi kain tile berwarna putih. Serangga dewasa diberi pakan larutan madu sebanyak 5% yang dioleskan pada kapas, kemudian digantung di dalam kandang media peletakan telur (*ovitrap*) menggunakan tumpukan stik es krim. Larva dipelihara dan diberi substrat pakan ayam komersil.

Persiapan Percobaan

Terdapat tiga jenis pakan/substrat yang digunakan dalam pengujian yaitu kulit ari kedelai, kulit pisang, dan pakan ayam. Kulit pisang yang digunakan adalah campuran berbagai jenis pisang yang dapat ditemukan tersebar secara merata di Jawa

Barat baik dataran rendah, menengah, maupun tinggi, yaitu pisang ambon kuning, pisang nangka, pisang muli/lampung, pisang raja sere, dan pisang kapas (Ismail dkk., 2017). Ismail dkk (2017), menyebutkan pisang ambon kuning, pisang nangka, pisang muli/lampung, pisang raja sere, dan pisang kapas memiliki nilai indeks nilai penting di Jawa Barat masing masing sebesar 54,07%, 44,24%, 18,71%, 16,90%, dan 11,74%. Kulit pisang yang dipakai, dicacah terlebih dahulu agar mudah untuk dicerna oleh larva. Sementara itu, kulit kedelai tidak dilakukan pencacahan terlebih dahulu dikarenakan strukturnya yang sudah hancur. Masing-masing substrat diberi perlakuan fermentasi dan tanpa fermentasi dengan EM4. Perlakuan dengan substrat yang difermentasi dilakukan dengan mencampurkan substrat menggunakan EM4, dengan dosis 5% selama 5 hari (Rahmatullah *et al.*, 2019). Selanjutnya seluruh substrat disimpan di dalam lemari pendingin dengan suhu -12°C dan siap untuk digunakan.

Studi Biokonversi Kulit Ari Kedelai dan Kulit Pisang oleh Larva BSF

Penelitian biokonversi lalat tentara hitam *H. illucens* dilakukan dengan menggunakan metode rancangan acak kelompok (RAK). Perlakuan terdiri dari 6 taraf perlakuan yang diulang sebanyak 5 kali sehingga didapatkan 30 satuan/unit percobaan. Perlakuan tersebut di antaranya adalah dengan menumbuhkan 100 ekor *H. illucens* yang berumur 6 hari pada masing-masing substrat, yaitu substrat kulit ari kedelai, fermentasi kulit ari kedelai, kulit pisang, fermentasi kulit pisang, fermentasi pakan ayam komersial, dan pakan ayam komersial sebagai pembanding.

Larva diberikan pakan sesuai dengan perlakuan pada interval tiga hari sekali dan tingkat pemberian pakan sebesar 100 mg/larva/hari. Jumlah larva dihitung setiap hari untuk menentukan jumlah pemberian pakan yang digunakan dan mengetahui tingkat keberhasilan hidup. Waktu dan jumlah pemberian substrat dihitung sampai larva mencapai prapupa sebanyak 50%. Pada kondisi optimum dan nutrisinya terpenuhi, maka pertumbuhan larva dapat berkembang secara baik menjadi prapupa selama ±14 hari (Wardhana, 2016). Parameter pengamatan pada tahapan biokonversi limbah oleh *H. illucens* yaitu sebagai berikut:

a. Tingkat konsumsi substrat dan indeks reduksi limbah

Kemampuan larva dalam mereduksi pakan (bahan organik) dihitung dengan menggunakan

waste reduction index (WRI), dengan rumus (Diener *et al.* 2009):

$$D = (W-R)/W$$

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

Keterangan:

D = tingkat konsumsi substrat

W = jumlah total pakan yang dipakai (berat kering) (mg)

R = bobot kering sisa/residu total yang teramat (mg)

T = waktu total percobaan sampai larva menjadi prapupa (hari)

b. *ECD/Efficiency Conversion of Digestive Feed* (efisiensi konversi pakan yang dicerna) (Scriber & Slansky 1981). Biomassa yang terbentuk, berat substrat, dan residu yang dihitung adalah berat kering.

$$ECD (\%) = B/(I-F) \times 100\%$$

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

dengan:

B = asimilasi pakan yang digunakan untuk tumbuh (mg).

I = bobot substrat awal (mg).

F = residu pakan ditambah feses (mg) (diamati 3 hari sekali).

M = pakan yang diasimilasi di metabolisme (dihitung dengan keseimbangan massa).

c. Lama Waktu Perkembangan dan Pemberian Substrat

Waktu perkembangan serta lamanya pemberian substrat/pakan dihitung dan dicatat. Waktu perkembangan larva yang lebih cepat dapat berguna dan menguntungkan dalam perbanyakan BSF secara massal.

d. Tingkat keberhasilan hidup (*survival rate*/SR)

SR (%) = (jumlah larva dibagi pupa yang bertahan atau jumlah larva dibagi pupa awal) $\times$ 100%

Larva/pupa yang diambil sebagai subsampel diasumsikan sebagai larva/pupa yang bertahan hidup sampai menjadi imago. Nilai SR yang tinggi mengindikasikan tingkat kelangsungan hidup yang tinggi. Pengamatan tingkat keberhasilan hidup dilakukan pada tahapan larva dan pupa.

e. Pengamatan Rasio Kelamin Fase Imago

Koleksi pupa dilakukan sampai seluruh larva menjadi pupa. Pupa dimasukkan ke dalam wadah plastik sesuai dengan perlakuan masing-masing. Selanjutnya, pupa BSF bertransformasi menjadi imago (lalat dewasa). Pengamatan tingkat keberhasilan pupa menjadi imago dan rasio kelamin dianalisis.

f. Pengamatan Biomassa Prapupa

Setelah larva berumur $\pm$ 14 hari (fase prapupa), larva dikeringkan dengan menggunakan oven dengan suhu sebesar 60°C selama 48 jam. Prapupa yang telah dikeringkan selanjutnya ditimbang dan dicatat beratnya.

Analisis Data

Model linier dalam percobaan ini didasari oleh rancangan acak kelompok (RAK). Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan uji ANOVA untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh perlakuan yang diuji. Apabila hasil ANOVA menunjukkan perbedaan nyata, selanjutnya diuji signifikansi untuk mengetahui pengaruh rata-rata perlakuan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan Uji *Tukey Pairwise Comparison* dengan taraf kepercayaan 95%. dengan menggunakan *software* Minitab 19. Apabila data tidak memenuhi syarat uji lanjut setelah dilakukan transformasi, maka dilakukan uji non-parametrik dengan menggunakan PMCMR *package software R-project*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persentase Konsumsi Substrat

Persentase konsumsi substrat (reduksi materi) larva BSF pada tingkat pemberian pakan sebesar 100 mg/larva/hari, yaitu berkisar antara 12,11-33,96% (Tabel 1). Persentase reduksi materi tertinggi diperoleh dari perlakuan fermentasi pakan ayam dan persentase terendah yaitu perlakuan fermentasi kulit pisang. Larva BSF yang diberikan perlakuan pakan kulit ari kedelai dan fermentasi kulit ari kedelai tidak berbeda nyata terhadap kontrol berdasarkan uji analisis statistik *Tukey Pairwise Comparison* ($P > 0,05$). Hal ini mengindikasikan bahwa kedua perlakuan ini tidak memiliki pengaruh yang nyata terhadap nilai persentase reduksi materi.

Nilai reduksi materi pada penelitian ini masih lebih rendah dibandingkan dengan laporan penelitian serupa. Reduksi materi oleh larva BSF yang telah diidentifikasi sampai saat ini paling tinggi mencapai 81% dengan pemberian substrat sisa sampah restoran (Nyakeri *et al.*, 2017), 68% pada sampah organik perkotaan (Diener *et al.*, 2011), dan 50% dengan pemberian kotoran ayam (Sheppard *et al.*, 1994). Faktor kelembapan substrat menjadi salah satu faktor utama dalam proses biokonversi. Menurut Dortmans *et al.* (2017), substrat pakan harus cukup lembap dengan kandungan air antara 60-

90% supaya dapat dicerna oleh larva. Dalam penelitian ini, kandungan air dalam substrat berkisar antara 50-60% dan paparan udara bebas serta cahaya matahari memungkinkan terjadinya penguapan pada substrat sehingga substrat tidak dapat direduksi dengan baik oleh larva. Selain itu, perbedaan nilai reduksi materi substrat ini juga diduga karena perbedaan kandungan serta kualitas nutrisi di dalam substrat/pakan yang diberikan. Hal ini berpengaruh terhadap sumbangan nutrisi bagi larva untuk tumbuh dan berkembang (Hakim dkk., 2017). Kandungan serat dan lignin yang ada di dalam substrat khususnya pada kulit pisang, menyulitkan larva dalam mencerna substrat ini. Lignin dan lignoselulosa tersebut sulit untuk dicerna dikarenakan larva BSF tidak memiliki enzim pendegradasi lignin di dalam saluran pencernaannya (Zheng *et al.*, 2012). Dalam penelitian ini, pengaruh fermentasi substrat dari ketiga jenis substrat menggunakan EM4 dengan dosis 5% dan disimpan selama 5 hari tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Dalam kondisi yang kurang menguntungkan (dalam hal ini substrat yang sulit untuk dicerna), larva *Hermetia illucens* dapat memperpanjang siklus hidupnya, sehingga siklus hidupnya menjadi lebih lama dan kurang menguntungkan untuk diperbanyak secara masal (Dortmans *et al.*, 2017).

Indeks Reduksi Materi (WRI) dan Efisiensi Konsumsi Substrat yang Dicerna (ECD)

Persentase reduksi materi digunakan untuk menghitung nilai indeks reduksi limbah/*waste reduction index* (WRI). Terdapat perbedaan nilai WRI yang signifikan di antara perlakuan pemberian substrat (Tabel 1). Larva yang diberi pakan fermentasi pakan ayam menghasilkan nilai WRI paling tinggi, yaitu sebesar $0,0377 \pm 0,001$. Sementara itu, larva yang diberi pakan kulit ari kedelai dan fermentasi kulit ari kedelai menghasilkan nilai WRI yang tidak berbeda nyata terhadap kontrol.

Nilai efisiensi konversi pakan yang dicerna (ECD) disajikan pada Tabel 1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa larva yang diberi pakan kulit pisang menghasilkan nilai persentase ECD paling tinggi, yaitu sebesar $37,58\% \pm 0,04$. Terdapat perbedaan yang nyata pada nilai ECD di antara perlakuan kulit pisang dan kontrol. Sementara itu, perlakuan lainnya (fermentasi pakan ayam, kulit pisang, kulit ari kedelai, dan fermentasi kulit ari kedelai) tidak memiliki perbedaan yang nyata.

Nilai indeks reduksi limbah (WRI) adalah tingkat efisiensi dan efektivitas waktu yang dibutuhkan larva untuk mereduksi substrat (Supriyatna & Putra, 2017). Nilai WRI yang tinggi mengindikasikan nilai efisiensi reduksi substrat/limbah yang baik (Diener *et al.*, 2009). Tingkat konsumsi substrat yang tinggi akan menghasilkan nilai WRI yang tinggi. Tingkat konsumsi substrat oleh larva BSF pada penelitian ini relatif rendah, sehingga nilai WRI yang diperoleh juga rendah. Rendahnya nilai WRI dikarenakan larva BSF hanya mengonsumsi substrat yang sedikit dan menyisakan kotoran dan sisa substrat yang banyak, sehingga residu yang dihasilkan pada saat proses konversi masih relatif tinggi.

Nilai efisiensi konversi pakan yang dicerna (ECD) merupakan nilai kemampuan larva *H. illucens* untuk mengonversi pakan ke dalam biomassa secara efisien (Diener *et al.*, 2009). Semakin tinggi nilai ECD maka semakin tinggi pula tingkat efisiensinya. Nilai ECD juga tidak terlepas dari pengaruh kualitas substrat yang diberikan. Kualitas substrat yang rendah atau kurang baik akan memberikan nilai ECD yang lebih rendah (Hakim dkk., 2017). Putra *et al.* (2020) juga melaporkan bahwa larva BSF yang diberikan substrat kulit pisang dan testa kelapa masing-masing memperoleh nilai ECD sebesar 13,02% dan 12,45%. Faktor utama yang memengaruhi nilai ECD adalah nutrisi yang terkandung di dalam substrat dan kandungan protein yang tinggi memberikan korelasi positif terhadap ECD (Jucker *et al.* 2020). Tingginya protein di dalam substrat limbah belalang memberikan nilai indeks ECD yang tinggi dibandingkan dengan substrat lainnya (limbah jangkrik dan pakan standar) yang memiliki kandungan protein rendah (Jucker *et al.*, 2020).

Waktu Perkembangan Larva dan Pemberian Substrat

Rata-rata waktu perkembangan larva dan durasi pemberian substrat disajikan pada Tabel 1. Larva BSF yang diberi substrat pakan ayam, fermentasi pakan ayam, kulit ari kedelai, dan fermentasi kulit ari kedelai, memiliki waktu perkembangan dan durasi pemberian substrat yang sama (15 hari). Sementara itu, larva yang diberikan substrat kulit pisang dan fermentasi kulit pisang memiliki rata-rata waktu perkembangan yang lebih lama untuk mencapai tahapan prapupa ($19,2 \pm 0,73$ hari).

Tabel 1. Dinamika perkembangan *Hermetia illucens* dan estimasi penggunaan substrat yang berbeda dengan laju pemberian pakan 100 mg/larva/hari

No.	Parameter Pengamatan	Perlakuan				
		Pakan ayam	Fermentasi pakan ayam	Kulit pisang	Fermentasi kulit pisang	Kulit ari kedelai Fermentasi kulit ari kedelai
1	Lama waktu perkembangan (larva ke prapupa, hari)	15,0±0,00 a	15,0±0,00 a	19,2±0,73 b	19,2±0,73 b	15,0±0,00 a
2	Lama waktu pemberian substrat perlakuan (hari)	9,0±0,00 a	9,0±0,00 a	13,2±0,73 b	13,2±0,73 b	9,0±0,00 a
3	Persentase konsumsi substrat/D (%)	24,74±0,01 b	33,96±0,01 a	15,87±0,03 c	12,11±0,01 c	27,15±0,02 ab
4	WRI (indeks reduksi limbah/ <i>waste reduction index</i> , konsumsi substrat/waktu pemberian substrat)	0,0275±0,001 b	0,0377±0,001 a	0,0117±0,002 c	0,0093±0,001 c	0,0302±0,003 b
5	ECD (%)	21,54±0,01 b	23,00±0,02 b	29,65±0,01 ab	37,58±0,040 a	25,65±0,02 b
6	Rasio kelamin	0,4622±0,03 a	0,5102±0,032 a	0,4402±0,014 a	0,4290±0,021 a	0,4907±0,025 a
7	Tingkat keberhasilan hidup larva (%)	96,0±0,548 a	99,2±0,374 a	96,0±0,707 a	98,2±0,583 a	98,4±0,4 a
8	Tingkat keberhasilan hidup pupa (%)	98,54±0,007 ab	99,60±0,002 a	88,32±0,017 cd	81,20±0,039 d	93,50±0,011 c
9	Biomassa individu prapupa yang terbentuk (mg)	25,6±1,0 a	32,6±2,0 a	8,0±2,0 c	7,8±1,0 c	14,6±1,0 b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda dalam kolom yang sama menunjukkan perbedaan yang nyata berdasarkan Uji Tukey pada taraf nyata 5%.

Secara umum, pada penelitian ini rata-rata periode waktu perkembangan larva menuju prapupa dari seluruh perlakuan masih lebih cepat dibandingkan dengan laporan penelitian serupa. Myers *et al.* (2008) melaporkan bahwa larva BSF yang diberi pakan kotoran sapi perah memiliki rata-rata periode waktu perkembangan selama 28-30 hari. Sementara itu, larva BSF yang diberikan substrat ampas kopi sebanyak 100 mg/larva/hari memiliki waktu perkembangan selama $29,9 \pm 2,35$ hari (Permana *et al.*, 2018). Rohmatillah (2021) melaporkan bahwa larva BSF membutuhkan waktu perkembangan selama 31 hari dengan pemberian substrat fermentasi ampas jelai (*barley*) sebanyak 100 mg/larva/hari. Sementara itu, larva BSF yang diberi pakan sisa buah-buahan dan sisa sayuran memiliki rata-rata waktu perkembangan masing-masing selama 16 dan 14,4 hari (Julita *et al.*, 2019).

Perbedaan waktu perkembangan larva diduga karena kualitas dan nutrisi yang terkandung dalam substrat yang diberikan. Kandungan serat yang ada pada kulit ari kedelai setidaknya terdapat 48% selulosa, 20,96% hemiselulosa, dan kandungan lignin yang rendah (Pratomo dkk., 2020). Kandungan lignin yang rendah dapat memudahkan selulosa dan hemiselulosa untuk terpecah (Zulkifliani dkk., 2017). Pakan ayam menurut SNI 01-3931-2006 memiliki kandungan protein kasar minimum 18%, lemak kasar maksimum 6,0%, dan serat kasar sebesar 6,0% (Nasruddin, 2010). Sementara itu, kulit pisang secara umum mengandung komponen lignin sebesar 21,29%, selulosa 14,56%, dan hemiselulosa sebesar 23,20% (Sukowati dkk., 2014).

Durasi pemberian substrat dan waktu perkembangan larva yang ditumbuhkan di media kulit pisang dan fermentasi kulit pisang yang lebih lama, diduga karena kandungan lignin pada kulit pisang yang relatif cukup tinggi. Larva BSF sendiri dilaporkan tidak memiliki enzim pendegradasi lignin (Kim *et al.* 2011). Supriyatna & Ukit (2016) melaporkan bahwa terdapat bakteri selulolitik dari kelompok *Bacillus* sp., *Ruminococcus* sp., *Proteus* sp., *B. subtilis*, dan *Alaligenes faecalis* pada saluran pencernaan larva BSF. Bakteri-bakteri ini tidak memiliki enzim pendegradasi lignin (Supriyatna & Ukit, 2016). Kandungan lignin yang tinggi pada substrat jerami (17,8%) menjadi faktor pembatas dalam perbanyakan larva BSF (Supriyatna & Putra, 2017). Hal ini diduga karena lignin memperkuat dinding sel tanaman sehingga tidak dapat dicerna oleh bakteri dalam saluran pencernaan larva

(Supriyatna & Putra, 2017). Pemberian substrat yang sulit dicerna menyebabkan periode stadia larva pada siklus hidup BSF menjadi lebih lama (Dortmans *et al.*, 2017). Walaupun demikian, secara umum persentase tingkat keberhasilan hidup pupa menjadi imago masih tergolong cukup tinggi (>80%). Larva BSF yang dipelihara dengan pakan yang mengandung kombinasi tinggi protein dan karbohidrat yang kompleks dapat secara signifikan mengurangi tingkat kematian pupa (Permana *et al.*, 2021).

Tahapan pupasi dan tingkat keberhasilan pupa menjadi imago BSF diduga dipengaruhi oleh keberadaan substrat. Penambahan substrat pasir, tanah bagian atas (*top soil*), serbuk kayu, dan tanah secara nyata berpengaruh terhadap tingkat keberhasilan serangga dewasa yang muncul (Holmes *et al.*, 2013). Pada tahapan dewasa, preferensi peletakkan telur dapat dipengaruhi oleh perbedaan material yang digunakan untuk perangkap telur (*ovitrap*) (Julita *et al.*, 2021).

Tingkat Keberhasilan Hidup Larva dan Pupa

Tingkat keberhasilan hidup larva menjadi pupa berkisar antara 96,0-99,2% ($P>0,05$) (Tabel 1). Sementara itu, tingkat keberhasilan hidup pupa menjadi imago berkisar antara 81,2-99,6%, dengan tingkat keberhasilan tertinggi diperoleh dari perlakuan fermentasi pakan ayam dan tingkat keberhasilan terendah yaitu perlakuan fermentasi kulit pisang. Tidak ada perbedaan yang signifikan di antara perlakuan larva yang diberikan pakan kulit pisang, fermentasi kulit pisang, kulit ari kedelai, dan fermentasi kulit ari kedelai terhadap tingkat keberhasilan hidup pupa. Walaupun demikian, persentase tingkat keberhasilan hidup pupa menjadi imago secara umum masih tergolong cukup tinggi (>80%).

Rasio Kelamin

Rasio kelamin imago BSF pada penelitian ini tercatat berkisar antara 0,4220-0,5102 (Tabel 1). Tidak ada perbedaan signifikan di antara seluruh perlakuan terhadap rasio kelamin imago BSF. Semakin tinggi nilai rasio kelamin serangga maka semakin besar jumlah serangga betina yang muncul. Hal ini ditentukan dari perbandingan jumlah serangga betina dan jantan yang muncul. Dalam penelitian ini, rasio kelamin BSF dewasa tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dari perlakuan pakan yang berbeda-beda. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Gobbi *et al.*

(2013), dengan pemberian tiga macam substrat yang berbeda (pakan ayam, *meat meal*, dan kombinasi) pada larva BSF, tidak memberikan perbedaan yang signifikan terhadap rasio kelamin lalat dewasa.

Putra & Safa'at (2020) melaporkan bahwa pemberian pakan campuran jeroan ikan, kulit pisang, dan ampas tahu dengan kombinasi yang berbeda tidak berpengaruh secara nyata terhadap rasio kelamin BSF. Hasil penelitian lainnya juga menyebutkan bahwa pemberian substrat yang berbeda-beda (substrat artifisial *Gainesville diet*, media artifisial CSMA, dan pakan ayam lapis protein 15%), tidak memberikan pengaruh yang signifikan

terhadap rasio kelamin imago BSF (Tomberlin *et al.*, 2002). Rasio kelamin serangga dewasa banyak dipengaruhi oleh kondisi fisik substrat (Gobbi *et al.*, 2013; Holmes *et al.*, 2013), tingkat keasaman substrat (Ma *et al.*, 2018), dan proporsi kandungan protein dan karbohidrat di dalam pakan yang diberikan (Cammack & Tomberlin, 2017; Barragan-Fonseca *et al.*, 2019). Walaupun demikian, terdapat penelitian yang menunjukkan bahwa perbedaan kuat rasio kelamin pada BSF dewasa berhubungan dengan perbedaan substrat yang digunakan (Permana *et al.*, 2021).

Tabel 2. Neraca massa penggunaan substrat oleh larva BSF

Perlakuan	Durasi pemberian substrat (hari)	Periode mencapai pupa (hari)	Bobot substrat rata-rata (g)	Jumlah substrat terpakai menjadi					
				Residu (g)	% Residu	Biomassa prapupa total (g)	% Biomassa	Metabolisme (g)	% Metabolisme
Pakan ayam	9	15	45,06	33,91	75,26	2,409	5,35	8,74	19,40
Fermentasi pakan ayam	9	15	41,46	27,37	66,02	3,224	7,78	10,87	26,21
Kulit pisang	13,2	19,2	15,04	12,58	83,64	0,715	4,75	1,75	11,60
Fermentasi kulit pisang	13,2	19,2	16,00	14,07	87,94	0,747	4,67	1,18	7,39
Kulit ari kedelai	9	15	20,89	15,17	72,62	1,416	6,78	4,30	20,60
Fermentasi kulit ari kedelai	9	15	17,81	13,37	75,07	1,130	6,34	3,31	18,59

Keterangan: Seluruh pengukuran dihitung dalam berat kering (*dry weight*)

Neraca Massa

Persentase penggunaan substrat oleh larva BSF disajikan pada Tabel 2. Sebanyak 7,39-26,21% digunakan larva sebagai metabolisme, sementara itu hanya sebagian kecil substrat yang dikonsumsi oleh larva dikonversi menjadi biomassa prapupa (4,67-7,78%). Sisa substrat yang tidak digunakan sebanyak 66,02% - 87,94% sebagai materi residu. Biomassa total prapupa yang terbentuk berkisar antara 0,715-3,224 g, dengan biomassa total prapupa yang terbentuk paling tinggi diperoleh dari larva yang diberi substrat fermentasi pakan ayam dan yang terendah yaitu pada larva yang diberi makan kulit pisang. Rata-rata biomassa total prapupa yang terbentuk dan substrat yang digunakan dari masing-masing perlakuan disajikan pada Tabel 2.

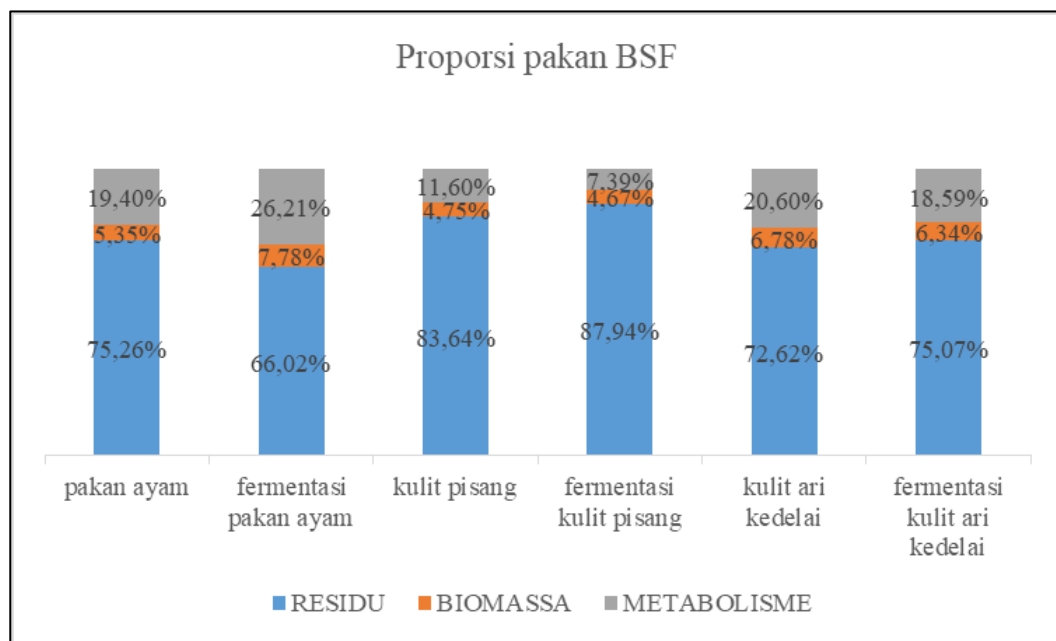
Proporsi pakan substrat yang digunakan oleh larva dipaparkan lebih jelas pada Gambar 1. Biomassa prapupa BSF yang terbentuk diduga dipengaruhi oleh substrat yang diberikan, sehingga

substrat dengan nutrisi yang tinggi akan menghasilkan pertumbuhan larva yang baik dengan gizi yang tinggi. Dortmans *et al.* (2017) melaporkan bahwa ukuran partikel substrat mempengaruhi daya makan larva BSF. Hal ini disebabkan oleh tipe mulut larva yang tidak berfungsi untuk mengunyah, sehingga nutrisi yang ada di dalam substrat dapat mudah untuk diserap apabila substrat tersebut berukuran kecil (Dortmans *et al.*, 2017). Selain itu, kadar air di dalam substrat diduga mempengaruhi perilaku makan larva. Diener *et al.* (2009), menyebutkan bahwa kondisi pakan yang paling optimal untuk pertumbuhan larva BSF adalah dengan kadar air sebesar 60%. Substrat dengan kandungan nutrisi yang tinggi dan mudah dicerna oleh larva akan menghasilkan biomassa hasil biokonversi yang tinggi dan menghasilkan residu yang rendah. Biomassa yang terbentuk, kandungan protein, dan lemak yang terkandung pada larva bergantung dari substrat yang dikonsumsi (Wang &

Shelomi, 2017). Nguyen *et al.* (2015), melaporkan bahwa larva BSF yang diberi hati atau daging (kandungan protein tinggi) dapat menghasilkan prapupa dengan kandungan protein yang lebih tinggi (60%) dibandingkan dengan yang diberi pakan limbah sisa sayuran (38%).

Dari hasil penelitian ini, dapat diketahui bahwa kinerja pertumbuhan larva BSF yang diberikan pakan kulit ari kedelai (baik fermentasi maupun non-fermentasi) secara umum tidak berbeda nyata dengan pakan ayam komersial

(kontrol). Fermentasi dengan menggunakan EM4 dengan dosis 5% selama 5 hari juga secara umum tidak memberikan efek yang cukup berarti, sehingga perlu adanya teknik fermentasi yang efektif baik mikroorganisme yang dipakai ataupun lama waktu penyimpanannya. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa biomassa prapupa yang terbentuk pada perlakuan pakan ayam (baik fermentasi maupun non-fermentasi) secara nyata memiliki nilai yang tinggi.



Gambar 1. Proporsi relatif dan jumlah pakan absolut yang diubah menjadi biomassa, metabolisme, dan residu

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kulit ari kedelai memiliki pengaruh yang sama dengan pakan ayam terhadap kinerja pertumbuhan larva. Kulit ari kedelai (baik fermentasi maupun non-fermentasi) dapat dijadikan alternatif pakan BSF pengganti pakan ayam komersil dengan harga kulit ari kedelai yang relatif lebih murah. Sementara itu, larva BSF yang ditumbuhkan pada kulit pisang (fermentasi dan non-fermentasi) secara nyata memiliki kinerja pertumbuhan yang lebih rendah. Walaupun larva BSF yang diberi pakan kulit pisang menghasilkan kinerja pertumbuhan yang rendah, kandungan nutrisinya perlu dikaji lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini, khususnya Muthia Rahma Mursyidi dan Nani Kurniawati yang telah memberikan bantuan teknis dalam pelaksanaan penelitian serta Suyitno yang telah menyediakan *Hermetia illucens*.

DAFTAR PUSTAKA

- Barragan-Fonseca, KB, G Gort, M Dicke, and 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(2): 148-159.
- Binta, D, S Wijana, dan AM Febrianto. 2013.

- Pengaruh lama pemeraman terhadap kadar lignin dan selulosa pulp (kulit buah dan pelepah nipah) menggunakan biodegradator EM4. *Jurnal Industria*. 2(1):75-83.
- Callan, EM. 1974. *Hermetia illucens* (Dipt. Stratiomyidae), a cosmopolitan American species long established in Australia and New-Zealand. *Entomologist's Monthly Magazine*. 109: 232-234.
- Cammack, JA, and JK Tomberlin. 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(2): 1-14.
- Čičková, H, GL Newton, RC Lacy, and Kozánek. 2015. The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Management*. 35: 68-80.
- Diener, S, NMS Solano, FR Gutiérrez, C Zurbrügg, and K Tockner. 2011. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste Biomass Valor*. 2: 357-363.
- Diener, S, Z Zurbrügg, and K Tockner. 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *SAGE publications*. 27(6): 603-610.
- Dortmans, B, S Diener, B Verstappen, and C Zurbrügg. 2017. *Black Soldier Fly Biowaste Processing*. Eawag. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. 85 Pages.
- Giffari, FR, A Susanto, RE Putra, dan AD Permana. 2021. Periode hidup dan potensi reproduksi lalat tentara hitam (*Hermetia illucens*) Linnaeus (Diptera: Stratiomyidae) pada substrat kulit pisang. *Jurnal Agrikultura*. 32(2): 158-167.
- Gobbi, P, A Martinez-Sanchez, and S Rojo. 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(3): 461-468.
- Hakim, AR, A Prasetya, dan HTBM Petrus. 2017. Studi laju umpan pada proses biokonversi limbah pengolahan tuna menggunakan larva *Hermetia illucens*. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. 12(2): 179-192.
- Holmes, LA, SL Vanlaerhoven, and JK Tomberlin. 2013. Substrate effects on pupation and adult emergence of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Environmental Entomology*. 42(2):370-374.
- Ismail, A, WA Qosim, M Rachmadi, dan N Wicaksana. 2017. Keragaman vegetasi jenis-jenis pisang lokal (*Banana* dan *Plantain*) pada tiga ekosistem di Jawa Barat. *Prosiding Seminar Nasional Peripi Komda Jatim*. Hlm 22-29.
- Jucker, C, D Lupi, CD Moore, MG Leonardi, and S Savoldelli. 2020. Nutrient recapture from insect farm waste: Bioconversion with *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Journal Sustainability*. 12(1): 362.
- Julita, U, LL Fitri, RE Putra, and AD Permana. 2019. Survival and reproductive value of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) on vegetable and fruits waste rearing substrate. *International Conference on Mathematics and Natural Sciences (ICMNS)*.
- Julita, U, LL Fitri, RE Putra, and AD Permana. 2021. Ovitrap preference in the black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 24(5): 562-570.
- Kim, W, S Bae, K Park, S Lee, Y Choi, S Han, and Y Koh. 2011. Biochemical characterization of digestive enzymes in the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 14: 11-14.
- Ma, J, Y Lei, K ur Rehman, Z Yu, J Zhang, W Li, Q Li, JK Tomberlin, and L Zheng. 2017. Dynamic effects of initial pH of substrate on biological growth and metamorphosis of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Environmental Entomology*. 47(1): 159-165.
- Manurung, R, A Supriyatna, RR Eysanthi, and RE Putra. 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(4): 1036-1041.
- Marshall, SA, NE Woodley, and M Hauser. 2015. The historical spread of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera, Stratiomyidae, Hermetiinae), and its establishment in Canada. *Journal of the Entomological Society of Ontario*. 146: 51-54.
- Murphi, H. 1994. *Pemanfaatan Kulit Buah Pisang untuk Produksi Enzim Selulase*. Skripsi. Teknologi Industri Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. 85 Hlm.

- Mutafela, RN. 2015. High value organic waste treatment via black soldier fly bioconversion. Royal Institute of Technology. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:868277/FULLTEXT02> [10 September 2019].
- Myers, H, JK Tomberlin, BD Lambert, and D Kattes. 2008. Development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairy manure. *Physiological Ecology*. 37(1): 11-15.
- Nasruddin. 2010. Komposisi nutrisi pakan ayam ras pedaging masa akhir (*Broiler Finisher*) dari beberapa bahan pakan lokal. *Dinamika Penelitian BIPA*. 21(38): 144-152.
- Newton, GL, CV Booram, RW Barker, and OM Hale. 1977. Dried *Hermetia illucens* Larvae Meal as a Supplement for Swine. *Journal of Animal Science*. 44(3): 395-400.
- Newton, G.L., D.C. Sheppard, D.W. Watson, G.J. Burtle, C.R. Dove, J.K. Tomberlin, and E.E. Thelen. 2005. The Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, as a Manure Management/Resource Recovery Tool.
- Nguyen, TTX, JK Tomberlin, and S Vanlaerhoven. 2013. Influence of resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larval development. *Journal of Medical Entomology*. 50: 898-906.
- Nguyen, TTX, JK Tomberlin, and S Vanlaerhoven. 2015. Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste. *Physiological Ecology*. 44(2): 406-410.
- Novianti, P dan Setyowati WAE. 2016. Pemanfaatan limbah kulit pisang kepok sebagai bahan baku pembuatan kertas alami dengan metode pemisahan alkalisasi. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains (SNPS)*.
- Nyakeri, EM, HJO Ogola, MA Ayieko, and FA Amimo. 2017. Volarisation of organic waste material: Growth performance of wild black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on different organic wastes. *Journal of Insects as Food and Feed*. 3(3): 193-202.
- Oonincx, DGAB, S van Broekhoven, A van Huis, and JJ van Loon. 2015. Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS ONE*. 10: e0144601.
- Permana, AD, JN Esther, and RE Putra. 2018. Growth of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae fed on spent coffee ground. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*.
- Permana, AD, RE Putra, A Nurulfah, M Rosmiati, I Kinasih, and DA Sari. 2021. Growth of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) fed with pak choi (*Brassica chinensis*) and carp (*Cyprinus carpio*) residues. *Biotropia*. 28(2): 92-101.
- Pinilla, YT, MA Patarroyo, and FJ Bello. 2013. *Sarconesiopsis magellanica* (Diptera: Calliphoridae) life cycle, reproductive and population parameters using different diets under laboratory conditions. *Forensic Science International*. 233: 380-386.
- Pratomo, DA, VK Afifah, dan RK Dewi. 2020. Proses hidrolisa sampah sayuran dan kulit ari kedelai terhadap kadar glukosa menggunakan asam klorida dengan variasi konsentrasi asam klorida dan waktu hidrolisis. *Atmosphere*. 1(1): 24-29.
- Pujol-Luz, JR, PAdC Francez, A Ururahy-Rodrigues, and R Constantino. 2008. The black soldier-fly, *Hermetia illucens* (Diptera, Stratiomyidae), used to estimate the post-mortem interval in a case in Amapa State, Brazil. *Journal of Forensic Sciences*. 53:476-478.
- Putra, RE, A Margareta, and I Kinasih. 2020. The digestibility of banana peel and testa coconut and its effects on the growth and mortality of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) at constant feeding rates. *Jurnal Tadris Biologi*. 11(1): 66-77.
- Putra, RE and Safa'at N. 2020. Study on sex determination and impact of sex ratio to reproduction success in black soldier fly. *Biodjati*. 5(2): 191-198.
- Rahmatullah, R, Hasnudi, E Mirwandhono, P Patriani, N Ginting, and GAW Siregar. 2019. The effects of fermentation time and EM4 dose on nutrient content of Kepok's peel as animal feed. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Rohmatillah, DDF. 2021. Biokonversi Ampas Bir oleh Larva Lalat Tentara Hitam (*Hermetia illucens* L.) (Diptera: Stratiomyidae). Tesis Program Magister. Institut Teknologi Bandung.
- Salimi, YK dan Payu CS. 2019. Pemberdayaan masyarakat dalam peningkatan nilai tambah pengolahan limbah kulit pisang (*Musa paradisiaca*) menjadi tepung untuk meningkatkan pendapatan masyarakat. *Jurnal*

- Pengabdian Kepada Masyarakat. 25(1): 42-26.
- Salundik, Suryahadi, SS Mansjoer, D Sopandic, dan W Ridwan. 2012. Cemaran Timbal (Pb) dan Arsen (As) pada susu sapi perah yang diberi pakan limbah organik pasar di Peternakan Sapi Perah Kebon Pedes Bogor. Jurnal Peternakan Indonesia. 14(1): 308-317.
- Scriber, JM and Slansky F. 1981. The nutritional ecology of immature insects. Annual Review of Entomology. 26: 183-211.
- Setti, L, E Francia, A Pulvirenti, S Gigliano, M Zaccardelli, C Pane, F Caradonia, S Bortolini, L Maistrello, and D Ronga. 2019. Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* (L), Diptera: Stratiomyidae) larvae processing residue in peat-based growing media. Waste Management. 95: 278-288.
- Sheppard, DC, GL Newton, SA Thompson, and S Savage. 1994. A value-added manure management-system using the black soldier fly. Bioresource Technology. 50: 275-279.
- Stamer, A. 2015. Insect proteins – a new source for animal feed. the use of insect larvae to recycle food waste in high-quality protein for livestock and aquaculture feeds is held back largely owing to regulatory hurdles. Science and Society. Embo Reports. 16: 676-680.
- St-Hilaire, S, K Cranfill, MA McGuire, EE Mosley, JK Tomberlin, L Newton, W Sealey, C Sheppard, and S Irving. 2007. Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. Journal of the World Aquaculture Society. 38(2): 309-313.
- Sukowati, A, Sutikno, dan S Rizal. 2014. Produksi bioetanol dari kulit pisang melalui hidrolisis asam sulfat. Jurnal Teknologi dan Industri Hasil Pertanian. 19(3): 274-288.
- Supriyatna, A, R Manurung, RR Esyanti, dan RE Putra. 2016. Growth of black soldier larvae fed on cassava peel wastes, an agriculture waste. Journal of Entomology and Zoology. Stud 4(6): 161-165.
- Supriyatna, A dan Putra RE. 2017. Estimasi pertumbuhan larva lalat *black soldier* (*Hermetia illucens*) dan penggunaan pakan jerami padi yang difermentasi dengan jamur *Phanerochaete chrysosporium*. J. Biodjati. 2(2): 159-166.
- Supriyatna, A dan Ukit. 2016. Screening and isolation of cellulolytic bacteria from gut of black soldier flies larvae (*Hermetia illucens*) feeding with rice straw. Biosaintifika. 8(3): 314-320.
- Tomberlin, JK, DC Sheppard, and JA Joyce. 2005. Black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) colonization of pig carrion in South Georgia. Journal of Forensic Science. 50(1): 1-2.
- Tomberlin, JK, DC Sheppard, and JA Joyce. 2002. Selected life-history traits of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) reared on three artificial diets. Annals of the Entomological Society of America. 95(3): 379-386.
- Tschirner, M and A Simon. 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(4): 249-259.
- Ulloa, JB, JH van Weerd, EA Huisman, and JA Verreth. 2004. Tropical agricultural residues and their potential uses in fish feeds: The Costa Rican situation. Journal of Waste Management. 24: 87-97.
- Wang, YS, and M Shelomi. 2017. Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. Journal of Foods. 6(10): 91.
- Wardhana, AH. 2016. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) sebagai sumber protein alternatif untuk pakan ternak. Wartazoa. 26(2): 069-078.
- Xiao, X, L Mazza, Y Yu, M Cai, L Zheng, JK Tomberlin, J Yu, A van Huis, Z Yu, and S Fasulo. 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: 668-676.
- Zheng, L, Y Hou, W Li, S Yang, Q Li, and Z Yu. 2012. Biodiesel production from rice straw and restaurant waste employing black soldier fly assisted by microbes. Energy. 47(1): 225-229.
- Zulkifliani, S, Handayani, Adisyahputra, dan D Sakarani. 2017. Seleksi senyawa penghidrolisis untuk menghasilkan gula reduksi dari limbah kulit ari kedelai sebagai bahan fermentasi bioetanol. Bioma UNJ Press. ISSN: 0126-3552.