

***Black Soldier Fly (Hermetia illucens)* sebagai Sumber Protein Alternatif untuk Pakan Ternak**

(Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as an Alternative Protein Source for Animal Feed)

April Hari Wardhana

Balai Besar Penelitian Veteriner, Jl. RE Martadinata No. 30, Bogor 16114
wardhana24id@yahoo.com

(Diterima 15 Februari 2016 – Direvisi 20 Mei 2016 – Disetujui 9 Juni 2016)

ABSTRACT

Increasing demand of protein source for animal feed, particularly fish meal and soybean meal has led to a problem in the future. It is a need to look for an alternative protein source, in order to meet amino acid requirements maintaining livestock production level. Insects possessing high quality, efficient and rich protein content at all life stages such as Black Soldier Fly (BSF, *Hermetia illucens*) could be used as one of the alternatives. The flies grow and reproduce easily, have high feed efficiency and can be reared on bio-waste streams. These are neither pests nor vectors of diseases. Insect meal generally possesses levels of chemical contaminants which are below recommended maximum concentrations. The larvae have antibacterial (*Escherichia coli* O15:H7, *Salmonella enterica* serovar *Enteritidis*) and antiviral (enterovirus and adenovirus) properties. Larvae of BSF could be scaled up easily and possess 40-50% protein content, including some essential amino acids that can be used to replace both fish meal and soybean meal in feed.

Key words: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, protein, feed

ABSTRAK

Peningkatan permintaan sumber protein untuk pakan ternak, terutama tepung ikan dan bungkil kedelai menjadi masalah di masa yang akan datang. Diperlukan sumber protein alternatif untuk memenuhi kebutuhan asam amino guna mempertahankan produksi ternak. Insekta yang kaya akan protein pada setiap tahapan metamorfosisnya, dengan kualitas protein yang bagus dan efisien, antara lain *Black Soldier Fly* (BSF, *Hermetia illucens*) dapat digunakan sebagai salah satu alternatif. Lalat ini mampu tumbuh dan berkembang biak dengan mudah, memiliki tingkat efisiensi pakan yang tinggi serta dapat dipelihara pada media limbah organik. *Black Soldier Fly* bukan merupakan lalat hama atau vektor suatu penyakit. Kandungan senyawa kimia kontaminan di dalam tepung BSF berada pada tingkat di bawah ketentuan maksimum yang direkomendasikan. Larva BSF memiliki sifat antibakteri (*Escherichia coli* O15:H7, *Salmonella enterica* serovar *Enteritidis*) dan antivirus (enterovirus dan adenovirus). Larva BSF dapat diproduksi secara mudah dan cepat, mengandung protein sebesar 40-50%, termasuk asam amino esensial yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti tepung ikan dan bungkil kedelai untuk pakan ternak.

Kata kunci: *Black soldier fly*, *Hermetia illucens*, protein, pakan

PENDAHULUAN

Penyediaan pakan ternak yang berkualitas merupakan salah satu faktor penentu keberhasilan industri peternakan dan menjadi komponen terbesar dalam kegiatan usaha tersebut, yaitu 50-70% (Katayane et al. 2014). Beski et al. (2015) menyatakan bahwa komponen protein mempunyai peran yang penting dalam suatu formula pakan ternak karena terlibat aktif dalam pembentukan jaringan tubuh dan terlibat aktif dalam metabolisme vital seperti enzim, hormon, antibodi dan lain sebagainya. Di negara-negara berkembang, sumber protein untuk formula pakan umumnya bertumpu pada protein hewani dan nabati, seperti bungkil kedelai,

tepung ikan, tepung darah atau tanaman leguminosa. Namun demikian, protein adalah komponen pakan paling mahal dibandingkan dengan yang lainnya. Akibatnya, secara ekonomi, pemenuhan sumber protein cukup membebani biaya produksi.

Indonesia sebagai salah satu negara pengimpor tepung dan minyak ikan terkena dampak negatif akibat kenaikan harga komoditas tersebut. Fahmi et al. (2007) menyebutkan bahwa Indonesia menganggarkan kurang lebih US\$ 200 juta per tahun untuk mengimpor tepung dan minyak ikan. Kendala yang lain adalah adanya tindakan penangkapan ikan yang berlebihan dan tidak terencana akan menyebabkan terhambatnya keberlangsungan pasokan ikan untuk industri pakan

(Adeniyi et al. 2015). Peternak sering memperoleh kualitas tepung ikan yang tidak menentu akibat diolah dari berbagai sumber dan ketersediaannya terbatas sehingga mempengaruhi kualitas dan harga ransum (Rambet et al. 2016). Semakin meningkatnya harga sumber-sumber protein dan adanya ancaman ketahanan pakan ternak, tekanan lingkungan, pertambahan populasi manusia serta meningkatnya permintaan protein di pasar menyebabkan harga protein yang berbasis hewan semakin mahal (FAO 2013). Oleh karena itu, studi pakan yang berkembang pada saat ini ditujukan untuk mencari sumber protein alternatif dengan memanfaatkan insekta.

Penggunaan insekta sebagai sumber protein telah banyak didiskusikan oleh para peneliti di dunia (Wang et al. 2005; Oyegoke et al. 2006; Premalatha et al. 2011). Menurut Van Huis (2013), protein yang bersumber pada insekta lebih ekonomis, bersifat ramah lingkungan dan mempunyai peran yang penting secara alamiah. Insekta dilaporkan memiliki efisiensi konversi pakan yang tinggi dan dapat dipelihara serta diproduksi secara massal. Disamping itu, budidaya insekta dapat mengurangi limbah organik yang berpotensi mencemari lingkungan (Li et al. 2011). Faktor lain yang menguntungkan adalah sumber protein berbasis insekta tidak berkompetisi dengan manusia sehingga sangat sesuai untuk digunakan sebagai bahan pakan ternak, termasuk unggas dan ikan (Veldkamp et al. 2012).

Black Soldier Fly (BSF), lalat tentara hitam (*Hermetia illucens*, Diptera: *Stratiomyidae*) adalah salah satu insekta yang mulai banyak dipelajari karakteristiknya dan kandungan nutriennya. Lalat ini berasal dari Amerika dan selanjutnya tersebar ke wilayah subtropis dan tropis di dunia (Čičková et al. 2015). Kondisi iklim tropis Indonesia sangat ideal untuk budidaya BSF. Ditinjau dari segi budidaya, BSF sangat mudah untuk dikembangkan dalam skala produksi massal dan tidak memerlukan peralatan yang khusus. Tahap akhir larva (prepupa) dapat bermigrasi sendiri dari media tumbuhnya sehingga memudahkan untuk dipanen. Selain itu, lalat ini bukan merupakan lalat hama dan tidak dijumpai pada pemukiman yang padat penduduk sehingga relatif aman jika dilihat dari segi kesehatan manusia (Li et al. 2011).

Dari berbagai insekta yang dapat dikembangkan sebagai pakan, kandungan protein larva BSF cukup tinggi, yaitu 40-50% dengan kandungan lemak berkisar 29-32% (Bosch et al. 2014). Rambet et al. (2016) menyimpulkan bahwa tepung BSF berpotensi sebagai pengganti tepung ikan hingga 100% untuk campuran pakan ayam pedaging tanpa adanya efek negatif terhadap pencernaan bahan kering (57,96-60,42%), energi (62,03-64,77%) dan protein (64,59-75,32%), walaupun hasil yang terbaik diperoleh dari penggantian tepung ikan hingga 25% atau 11,25% dalam pakan.

Sebagai sumber bahan baku pakan, produk berbasis insekta juga harus aman dari kontaminan kimia. Charlton et al. (2015) menganalisis keamanan beberapa insekta sebagai sumber protein dalam pakan ternak antara lain lalat rumah (*Musca domestica*), lalat botol biru (*Calliphora vomitoria*), lalat hembus (*Chrysomya* spp) dan BSF. Secara umum, semua produk berbasis insekta tersebut relatif aman karena berada di bawah konsentrasi maksimum yang direkomendasikan oleh *European Commission* (EC), *World Health Organization* (WHO) dan Codex.

Makalah ini akan membahas tentang potensi pemanfaatan BSF sebagai sumber protein alternatif untuk pakan ternak, termasuk karakteristik BSF dan kandungan nutriennya setelah dipelihara dalam berbagai media sehingga dapat memberikan informasi yang lebih komprehensif bagi para peternak yang tertarik menggunakan tepung BSF sebagai pengganti tepung ikan.

MORFOLOGI DAN SIKLUS HIDUP *BLACK SOLDIER FLY*

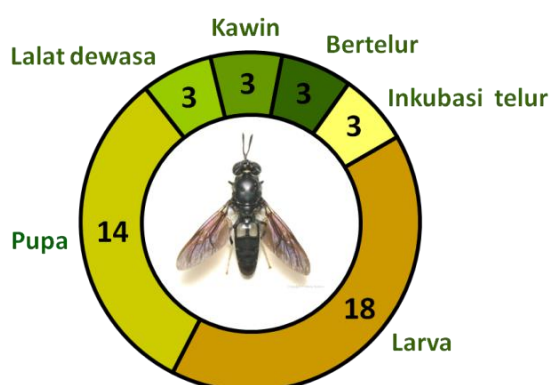
Black Soldier Fly berwarna hitam dan bagian segmen basal abdomennya berwarna transparan (*wasp waist*) sehingga sekilas menyerupai abdomen lebah. Panjang lalat berkisar antara 15-20 mm dan mempunyai waktu hidup lima sampai delapan hari (Gambar 1). Saat lalat dewasa berkembang dari pupa, kondisi sayap masih terlipat kemudian mulai mengembang sempurna hingga menutupi bagian torak. Lalat dewasa tidak memiliki bagian mulut yang fungsional, karena lalat dewasa hanya beraktivitas untuk kawin dan bereproduksi sepanjang hidupnya. Kebutuhan nutrisi lalat dewasa tergantung pada kandungan lemak yang disimpan saat masa pupa. Ketika simpanan lemak habis, maka lalat akan mati (Makkar et al. 2014). Berdasarkan jenis kelaminnya, lalat betina umumnya memiliki daya tahan hidup yang lebih pendek dibandingkan dengan lalat jantan (Tomberlin et al. 2009).



Gambar 1. Morfologi larva, pupa dan lalat dewasa BSF

Sumber: McShaffrey (2013) dan koleksi pribadi

Menurut Tomberlin et al. (2002) bahwa siklus hidup BSF dari telur hingga menjadi lalat dewasa berlangsung sekitar 40-43 hari, tergantung dari kondisi lingkungan dan media pakan yang diberikan (Gambar 2). Lalat betina akan meletakkan telurnya di dekat sumber pakan, antara lain pada bongkahan kotoran unggas atau ternak, tumpukan limbah bungkil inti sawit (BIS) dan limbah organik lainnya. Lalat betina tidak akan meletakkan telur di atas sumber pakan secara langsung dan tidak akan mudah terusik apabila sedang bertelur. Oleh karena itu, umumnya daun pisang yang telah kering atau potongan kardus yang berongga diletakkan di atas media pertumbuhan sebagai tempat telur.



Angka yang tercantum dalam skema menunjukkan lama waktu perkembangan BSF dalam setiap tahapan metamorfosisnya (hari).

Gambar 2. Siklus hidup lalat BSF

Sumber: Tomberlin et al. (2002) yang dimodifikasi

Di alam, lalat betina akan tertarik dengan bau senyawa aromatik dari limbah organik (atraktan) sehingga akan datang ke lokasi tersebut untuk bertelur. Atraktan diperoleh dari proses fermentasi dengan penambahan air ke limbah organik, seperti limbah BIS, limbah sayuran atau buah-buahan atau penambahan EM4® (bakteri) dan mikroba rumen. Jumlah lalat betina yang meletakkan telur pada suatu media umumnya lebih dari satu ekor. Keadaan ini dapat terjadi karena lalat betina akan mengeluarkan penanda kimia yang berfungsi untuk memberikan sinyal ke betina-betina lainnya agar meletakkan telur di tempat yang sama. Telur BSF berwarna putih dan berbentuk lonjong dengan panjang sekitar 1 mm terhimpun dalam bentuk koloni.

Seekor lalat betina BSF normal mampu memproduksi telur berkisar 185-1235 telur (Rachmawati et al. 2010). Literatur lain menyebutkan bahwa seekor betina memerlukan waktu 20-30 menit untuk bertelur dengan jumlah produksi telur antara

546-1.505 butir dalam bentuk massa telur (Tomberlin & Sheppard 2002). Berat massa telur berkisar 15,8-19,8 mg dengan berat individu telur antara 0,026-0,030 mg. Waktu puncak bertelur dilaporkan terjadi sekitar pukul 14.00-15.00. Lalat betina dilaporkan hanya bertelur satu kali selama masa hidupnya, setelah itu mati (Tomberlin et al. 2002).

Lebih lanjut disebutkan bahwa jumlah telur berbanding lurus dengan ukuran tubuh lalat dewasa. Lalat betina yang memiliki ukuran tubuh lebih besar dengan ukuran sayap lebih lebar cenderung lebih subur dibandingkan dengan lalat yang bertubuh dan sayap yang kecil (Gobbi et al. 2013). Jumlah telur yang diproduksi oleh lalat berukuran tubuh besar lebih banyak dibandingkan dengan lalat berukuran tubuh kecil. Selain itu, kelembaban juga dilaporkan berpengaruh terhadap daya bertelur lalat BSF. Sekitar 80% lalat betina bertelur pada kondisi kelembaban lebih dari 60% dan hanya 40% lalat betina yang bertelur ketika kondisi kelembaban kurang dari 60% (Tomberlin & Sheppard 2002).

Dalam waktu dua sampai empat hari, telur akan menetas menjadi larva instar satu dan berkembang hingga ke instar enam dalam waktu 22-24 hari dengan rata-rata 18 hari (Barros-Cordeiro et al. 2014). Ditinjau dari ukurannya, larva yang baru menetas dari telur berukuran kurang lebih 2 mm, kemudian berkembang hingga 5 mm. Setelah terjadi pergantian kulit, larva berkembang dan tumbuh lebih besar dengan panjang tubuh mencapai 20-25 mm, kemudian masuk ke tahap prepupa. Tomberlin et al. (2009) menyebutkan bahwa larva betina akan berada di dalam media lebih lama dan mempunyai bobot yang lebih berat dibandingkan dengan larva jantan. Secara alami, larva instar akhir (prepupa) akan meninggalkan media pakannya ke tempat yang kering, misalnya ke tanah kemudian membuat terowongan untuk menghindari predator dan cekaman lingkungan.

Holmes et al. (2013) membandingkan lima substrat dalam stadia pupa, yaitu serbuk gergaji, tanah, humus, pasir dan tidak menggunakan substrat. Stadia pupa yang dipelihara pada substrat pasir dan humus lebih lama dibandingkan pada substrat tanah dan serbuk gergaji. Stadia pupa tanpa substrat berjalan paling cepat karena untuk mengurangi risiko dari predator atau ancaman lingkungan. Namun, kondisi ini menyebabkan daya tetas pupa menjadi *imago* (lalat dewasa) lebih rendah dibandingkan dengan yang lain. Hal ini diduga karena energi yang tersimpan selama menjadi larva banyak digunakan untuk mempertahankan diri dari kondisi lingkungan yang tidak sesuai. Bobot pupa betina rata-rata 13% lebih berat dibandingkan dengan bobot pupa jantan (Tomberlin et al. 2009). Setelah 14 hari, pupa berkembang menjadi lalat dewasa (*imago*). Dua atau tiga hari kemudian lalat dewasa siap untuk melakukan perkawinan.

Suhu merupakan salah satu faktor yang berperan dalam siklus hidup BSF. Suhu yang lebih hangat atau di atas 30°C menyebabkan lalat dewasa menjadi lebih aktif dan produktif. Suhu optimal larva untuk dapat tumbuh dan berkembang adalah 30°C, tetapi pada suhu 36°C menyebabkan pupa tidak dapat mempertahankan hidupnya sehingga tidak mampu menetas menjadi lalat dewasa. Pemeliharaan larva dan pupa BSF pada suhu 27°C berkembang empat hari lebih lambat dibandingkan dengan suhu 30°C (Tomberlin et al. 2009). Suhu juga berpengaruh terhadap masa inkubasi telur. Suhu yang hangat cenderung memicu telur menetas lebih cepat dibandingkan dengan suhu yang rendah.

Meskipun lalat dewasa tidak memerlukan pakan sepanjang hidupnya, tetapi pemberian air dan madu dilaporkan mampu memperpanjang lama hidup dan meningkatkan produksi telur. Rachmawati et al. (2010) membuktikan bahwa puncak kematian lalat dewasa yang diberi minum madu terjadi pada hari ke-10 hingga 11, sedangkan pada lalat yang diberi minum air terjadi kematian tertinggi pada hari kelima hingga kedelapan dan berlanjut pada hari ke-10 hingga 12. Ditinjau dari waktu bertelurnya, lalat betina yang diberi minum madu mencapai puncak waktu bertelur pada hari kelima, sedangkan pada perlakuan pemberian air terjadi pada hari ketujuh.

Faktor yang mempengaruhi aktivitas kawin *Black Soldier Fly*

Aktivitas kawin BSF umumnya terjadi pada pukul 8.30 dan mencapai puncaknya pada pukul 10.00 di lokasi yang penuh tanaman (vegetasi) ketika suhu lingkungan mencapai 27°C. Lalat betina hanya kawin dan bertelur sekali selama masa hidupnya. Saat melakukan aktivitas kawin, lalat jantan akan memberikan sinyal ke lalat betina untuk datang ke lokasi yang telah ditentukan oleh pejantan. Perkawinan BSF terjadi di tanah dengan posisi jantan dan betina berlawanan (saling membelakangi) atau di daerah yang penuh dengan vegetasi. Namun, ada juga laporan yang menyebutkan bahwa perkawinan dapat juga terjadi di udara. Kondisi ruang udara yang cukup dan kepadatan jumlah lalat merupakan faktor penting yang mempengaruhi keberhasilan aktivitas kawin BSF.

Intensitas cahaya dan suhu sangat berpengaruh terhadap kesuksesan aktivitas kawin lalat BSF (Zhang et al. 2010; Gobbi et al. 2013). Umumnya lalat dewasa membutuhkan penerangan yang tinggi tetapi masih di bawah intensitas sinar matahari. Minimal intensitas cahaya yang dibutuhkan untuk aktivitas kawin adalah 70 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sedangkan puncak aktivitas kawin terjadi pada kondisi penerangan 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ atau lebih dari 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ hingga 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Sheppard et al. 2002). Oleh karena itu, untuk memicu

terjadinya aktivitas kawin BSF diperlukan penerangan buatan apabila lingkungan dalam keadaan mendung atau penerangan kurang.

Zhang et al. (2010) menyatakan bahwa penggunaan lampu *quartz-iodine* 500 watt dengan intensitas cahaya 135 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ mampu menstimulasi aktivitas kawin dan bertelur dibandingkan dengan kondisi di bawah sinar matahari. Namun, ketika intensitasnya ditingkatkan menjadi 160 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ dilaporkan tidak terjadi aktivitas kawin. Lebih lanjut dijelaskan bahwa panjang gelombang 450-700 nm berpengaruh terhadap tingkah laku kawin lalat BSF, sedangkan pada panjang gelombang 350-450 nm tidak menstimulasi terjadinya aktivitas kawin BSF. Panjang gelombang cahaya yang masih dapat dilihat oleh insekta sekitar 700 nm (Briscoe & Chittka 2001).

Media perkembangan larva *Black Soldier Fly*

Larva lalat BSF dapat tumbuh dan berkembang subur pada media organik, seperti BIS, kotoran sapi, kotoran babi, kotoran ayam, sampah buah dan limbah organik lainnya. Kemampuan larva BSF hidup dalam berbagai media terkait dengan karakteristiknya yang memiliki toleransi pH yang luas (Mangunwardoyo et al. 2011). Selain itu, kemampuan larva dalam mengurai senyawa organik ini juga terkait dengan kandungan beberapa bakteri yang terdapat di dalam saluran pencernaannya (Dong et al. 2009; Yu et al. 2011). Banjo et al. (2005) berhasil mengidentifikasi beberapa bakteri yang diisolasi dari sistem pencernaan larva BSF, yaitu *Micrococcus* sp, *Streptococcus* sp, *Bacillus* sp dan *Aerobacter aerogens*.

Kualitas dan kuantitas media perkembangan larva lalat sangat mempengaruhi kandungan nutrisi tubuh serta keberlangsungan hidup larva pada setiap instar dan tahap metamorfosis selanjutnya (Gobbi et al. 2013; Makkar et al. 2014). De Haas et al. (2006) menyatakan bahwa kualitas media perkembangan larva berkorelasi positif dengan panjang larva dan persentase daya tahan hidup lalat dewasa. Jumlah dan jenis media yang kurang mengandung nutrisi dapat menyebabkan bobot pupa kurang dari normal, akibatnya pupa tidak dapat berkembang menjadi lalat dewasa (Wardhana & Muharsini 2004). Larva BSF yang dikoleksi dari alam dan ditumbuhkan pada media organik dengan kualitas cukup memiliki performans yang lebih baik dibandingkan dengan larva dari koloni laboratorium (Tomberlin et al. 2002). Bobot larva BSF yang diberi pakan dalam jumlah terbatas tidak berbeda nyata dengan yang diberi pakan melimpah (Myers et al. 2008). Namun, lalat dewasa yang menetas dari kelompok larva dengan pakan terbatas memiliki umur yang lebih pendek (tiga sampai empat hari). Menurut Zarkani & Miswati (2012) kualitas media pertumbuhan larva juga berpengaruh terhadap jumlah rasio antara

alat jantan dan betina yang menetas dari pupa. Lalat dewasa jantan akan banyak menetas dari larva yang dipelihara pada jumlah media yang terbatas.

Untuk mengatasi ketergantungan media larva BSF dengan BIS, maka digunakan limbah *loading ramp* sawit, yaitu limbah yang dihasilkan saat proses pemasukan tandan buah segar ke dalam bak/gerobak/troli sebelum proses perebusan. Limbah ini memiliki kandungan protein sekitar 9,81% dengan kadar lemak mencapai 10,32%. Kandungan tersebut lebih rendah dibandingkan dengan BIS, yaitu 16-17% protein dan 13-15% lemak (Sundu & Dingle 2003). Adapun limbah solid memiliki kandungan protein lebih tinggi (12,63%), tetapi kandungan lemaknya lebih rendah (7,12%) dibandingkan dengan limbah *loading ramp* (Hadadi et al. 2007).

Media BIS juga menghasilkan kadar protein dan berat kering larva yang lebih tinggi dibandingkan dengan media dari kotoran ayam (Katayane et al. 2014). Keadaan ini diduga karena kualitas protein yang ada di dalam kotoran ayam petelur merupakan senyawa *Non Protein Nitrogen (NPN)* sehingga berkualitas lebih rendah dibandingkan dengan kandung protein pada BIS. Disamping itu, kandungan nutrisi yang terkandung dalam kotoran ayam petelur juga lebih rendah dibandingkan dengan BIS (Arief et al. 2012). Studi lain menyatakan bahwa substrat yang berkualitas rendah akan menghasilkan larva BSF yang lebih sedikit karena media pertumbuhannya mengandung komponen gizi yang kurang atau terbatas. Apabila kandungan nilai gizi pada media pertumbuhan berkurang, maka fase larva dapat mencapai empat bulan, tetapi apabila

nutrinya cukup, maka fase larva hanya memerlukan waktu dua minggu.

KANDUNGAN NUTRISI LARVA *BLACK SOLDIER FLY*

Persentase kandungan nutrisi larva BSF secara umum dapat dilihat pada Tabel 1. Kandungan protein pada larva ini cukup tinggi, yaitu 44,26% dengan kandungan lemak mencapai 29,65%. Nilai asam amino, asam lemak dan mineral yang terkandung di dalam larva juga tidak kalah dengan sumber-sumber protein lainnya, sehingga larva BSF merupakan bahan baku ideal yang dapat digunakan sebagai pakan ternak (Fahmi et al. 2007).

Ditinjau dari umur, larva memiliki persentase komponen nutrisi yang berbeda. Kadar bahan kering larva BSF cenderung berkorelasi positif dengan meningkatnya umur, yaitu 26,61% pada umur lima hari menjadi 39,97% pada umur 25 hari. Hal yang sama juga terjadi pada komponen lemak kasar, yaitu sebesar 13,37% pada umur lima hari dan meningkat menjadi 27,50% pada umur 25 hari. Kondisi ini berbeda dengan komponen protein kasar yang cenderung turun pada umur yang lebih tua (Tabel 2).

Hasil analisis proksimat menunjukkan bahwa kandungan protein kasar larva yang muda lebih tinggi dibandingkan dengan larva yang tua. Kondisi ini diduga karena larva yang masih muda mengalami pertumbuhan sel struktural yang lebih cepat. Tetapi, apabila ditinjau dari skala produksi massal maka kuantitas produksi menjadi faktor yang perlu

Tabel 1. Persentase kandungan nutrisi larva BSF

Proksimat	(%)	Asam amino	(%)	Asam lemak	(%)	Mineral	(%)
Air	2,38	Serin	6,35	Linoleat	0,70	Mn	0,05 mg/g
Protein	44,26	Glisin	3,80	Linolenat	2,24	Zn	0,09
Lemak	29,65	Histidin	3,37	<i>Saturated</i>	20,00 mg/g	Fe	0,68
		Arginin	12,95	Monomer	8,71	Cu	0,01
		Treonin	3,16			P	0,13
		Alanin	25,68			Ca	55,65
		Prolin	16,94			Mg	3,50
		Tirosin	4,15			Na	13,71
		Valin	3,87			K	10,00
		Sistin	2,05				
		Isoleusin	5,42				
		Leusin	4,76				
		Lisin	10,65				
		Taurin	17,53				
		Sistein	2,05				
		NH ₃	4,33				
		Ornitina	0,51				

Sumber: Fahmi et al. (2007)

Tabel 2. Hasil analisis proksimat kandungan nutrisi tahap larva prepupa yang dipelihara pada media BIS

Umur (hari)	Kadar (%)			
	Bahan kering	Protein kasar	Lemak kasar	Abu kasar
5	26,61	61,42	13,37	11,03
10	37,66	44,44	14,60	8,62
15	37,94	44,01	19,61	7,65
20	39,20	42,07	23,94	11,36
25	39,97	45,87	27,50	9,91

Sumber: Rachmawati et al. (2010)

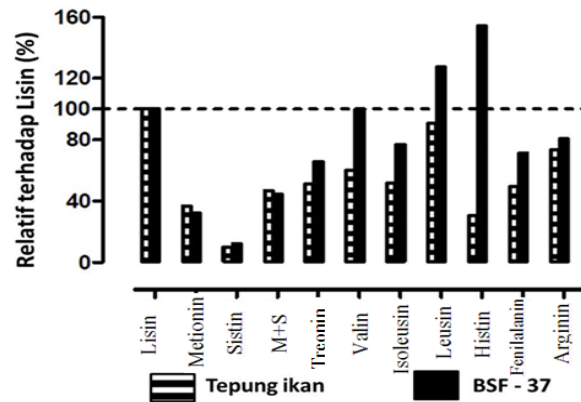
dipertimbangkan sehingga diperlukan bobot larva yang lebih tinggi (prepupa). Dalam skala industri, produksi tepung larva dari tahap instar yang tua lebih menguntungkan. Rachmawati et al. (2010) menyatakan bahwa larva yang lebih besar (prepupa) sangat ideal digunakan untuk campuran pakan atau bahan baku pelet karena mampu memenuhi kuantitas produksi. Larva muda lebih sesuai diberikan untuk pakan ikan secara langsung, karena bentuknya yang kecil sesuai dengan ukuran mulut ikan.

Newton et al. (2005) membandingkan persentase kandungan asam amino esensial dan non-esensial dari larva BSF kering yang diberi pakan kotoran sapi potong dan babi. Kandungan asam amino esensial larva BSF yang diberi pakan kotoran sapi potong relatif lebih tinggi dibandingkan dengan yang diberi pakan kotoran babi, kecuali kandungan treonin dan triptofan. Hal yang sama juga terjadi pada asam amino non-esensial, yaitu kandungannya sistin, serin dan asam glutamat pada larva yang diberi pakan kotoran babi relatif lebih rendah. Apabila dibandingkan dengan tepung kedelai, kandungan lisin, leusin, fenilalanin dan treonin larva BSF yang diberi pakan kotoran sapi dan babi tidak berbeda nyata. Meskipun kandungan isoleusin dan arginin lebih rendah daripada tepung kedelai, tetapi kandungan metionin, histidin, valin dan triptofan dalam BSF lebih tinggi.

Data lain juga menunjukkan bahwa terdapat perbedaan persentase kandungan mineral pada larva BSF yang diberi pakan kotoran unggas dan babi (Newton et al. 2005). Kandungan mineral fosfor lebih tinggi pada larva yang diberi pakan kotoran unggas daripada yang dipelihara pada media kotoran babi. Sebaliknya, larva pada media kotoran babi memiliki kandungan protein dan abu yang relatif lebih tinggi, tetapi tidak berbeda secara nyata dengan larva yang diberi pakan kotoran unggas

Elwert et al. (2010) membandingkan pola asam amino tepung ikan dengan tepung BSF yang telah dikurangi lemaknya (BSF-37). Gambar 3 menunjukkan bahwa pola asam amino keduanya relatif sama.

Berdasarkan analisis jenis asam amino (relatif terhadap lisin) terlihat bahwa kandungan isoleusin, leusin, treonin, valin, fenilalanin dan arginin relatif lebih tinggi pada tepung BSF dibandingkan dengan tepung ikan. Perbedaan yang mencolok terlihat pada kandungan histidin. Adapun kandungan metionin pada tepung BSF relatif lebih rendah dibandingkan dengan tepung ikan.



Gambar 3. Perbandingan pola asam amino antara tepung ikan dan larva BSF yang telah dikurangi kadar lemaknya

Sumber: Elwert et al. (2010)

PEMANFAATAN *BLACK SOLDIER FLY* SEBAGAI PAKAN TERNAK

Pemanfaatan BSF sebagai campuran pakan babi pertama kali dipublikasi oleh Newton et al. (1977). Tepung larva BSF cukup sesuai sebagai bahan pakan karena mengandung asam amino, lemak dan kalsium yang dibutuhkan untuk pertumbuhan babi, meskipun kandungan abunya relatif tinggi. Berdasarkan hasil uji palatabilitas, ternak babi lebih suka pakan yang mengandung larva BSF daripada pakan berbasis tepung kedelai sebagai sumber protein. Selanjutnya, tepung prepupa BSF diujikan pada babi yang disapih secara dini dan dibandingkan dengan tepung plasma darah. Kelompok yang diberi pakan dengan kandungan 50% tepung prepupa BSF menunjukkan performans yang lebih baik dibandingkan dengan kontrol, tetapi pada kelompok 100% memberikan performans lebih rendah. Kondisi tersebut diduga karena kandungan lemak dan abu yang terlalu tinggi pada sediaan prepupa BSF (Newton et al. 2005). Menurut Veldkamp & Bosch (2015) profil asam amino yang terkandung dalam tepung BSF mirip dengan tepung kedelai, khususnya kandungan metionin atau metionin + sistin yang merupakan asam amino esensial untuk pertumbuhan babi dan ayam pedaging. Pemberian tepung BSF pada ransum akan memenuhi kebutuhan asam-asam amino tersebut.

Berbeda dengan studi pada babi, pemanfaatan tepung BSF sebagai pakan pada unggas dipelajari lebih intensif. Elwert et al. (2010) menguji efektivitas tepung BSF dalam meningkatkan bobot badan ayam pedaging dibandingkan dengan pakan yang mengandung tepung ikan. Bobot badan ayam pada fase *starter* dan *grower* tidak berbeda nyata antara kelompok yang diberi pakan yang mengandung tepung BSF dengan kelompok yang diberi tepung ikan. Bukti ini mengindikasikan bahwa substitusi tepung ikan dengan tepung BSF akan memberikan hasil yang sama, tetapi secara operasional lebih ekonomis. Maurer et al. (2016) menyatakan bahwa substitusi tepung kedelai secara sebagian atau menyeluruh dengan tepung BSF tidak mempengaruhi asupan pakan, performans telur, bobot telur dan efisiensi pakan pada ayam petelur jika dibandingkan dengan pemberian pakan standar.

Studi lain juga diuji pada burung puyuh (*Coturnix coturnix japonica*) dengan cara mengganti tepung ikan dengan tepung BSF, termasuk melakukan beberapa kombinasi tepung ikan dan tepung BSF dengan persentase yang berbeda (Widjastuti et al. 2014). Substitusi 50-75% tepung ikan dengan tepung BSF memberikan respon yang positif terhadap produksi dan bobot telur puyuh, tingkat konsumsi pakan serta konversi pakan. Hal ini dapat dipahami karena tepung BSF memiliki protein dengan karakteristik asam amino yang relatif sama dengan tepung ikan (Newton et al. 2005).

Keuntungan *Black Soldier Fly* sebagai pakan ternak

Pemanfaatan larva BSF sebagai pakan ternak memiliki keuntungan secara langsung maupun tidak langsung. Larva BSF mampu mengurai limbah organik, termasuk limbah kotoran ternak secara efektif karena larva tersebut termasuk golongan detritivora, yaitu organisme pemakan tumbuhan dan hewan yang telah mengalami pembusukan. Dibandingkan dengan larva dari keluarga lalat *Muscidae* dan *Calliphoridae*, larva ini tidak menimbulkan bau yang menyengat dalam proses mengurai limbah organik sehingga dapat diproduksi di rumah atau pemukiman. Pernyataan ini sesuai dengan pendapat Banks et al. (2014) yang menunjukkan adanya penurunan senyawa volatil pada media yang diberi larva BSF berdasarkan pengamatan di laboratorium.

Kemampuan larva dalam mengurai senyawa organik ini dilaporkan terkait dengan kandungan beberapa bakteri yang terdapat di dalam sistem pencernaannya (Dong et al. 2009; Yu et al. 2011). Tomberlin et al. (2002) dan Myers et al. (2008) melaporkan bahwa larva BSF mampu mengurangi limbah hingga 58% dan menurunkan konsentrasi populasi nitrogen di kandang. Sebanyak 58 tons prepupa dapat dihasilkan dari kotoran ayam petelur

dengan kapasitas 100.000 ekor dalam waktu lima bulan sehingga sangat ideal untuk dikembangkan sebagai agen biokonversi dan sumber protein alternatif (Tomberlin & Sheppard 2002). Diener et al. (2011) juga melaporkan bahwa larva BSF mampu mengurai hingga 68% sampah perkotaan, 50% untuk kotoran ayam, 39% untuk kotoran babi serta 25% untuk campuran kotoran ayam dan sapi, sedangkan menurut Zakova & Barkovcova (2013), larva BSF mampu mengurai sampah tanaman hingga 66,53%.

Keuntungan yang lain adalah larva BSF bukan merupakan vektor suatu penyakit dan relatif aman untuk kesehatan manusia sehingga jarang dijumpai di pemukiman terutama yang berpenduduk padat. Disamping itu, populasi lalat BSF mampu mengurangi populasi lalat *M. domestica* (lalat rumah). Apabila dalam limbah organik telah didominasi oleh larva BSF, maka lalat *M. domestica* tidak akan bertelur di tempat tersebut. Tomberlin & Sheppard (2002) menyebutkan bahwa koloni BSF yang berkembang di kotoran ayam mampu menurunkan populasi lalat *M. domestica* (Diptera: *Muscidae*) sebesar 94-100%. Lebih lanjut dijelaskan bahwa koloni tersebut mampu mengurangi akumulasi kotoran ayam dalam kandang hingga 50%. Secara alamiah, larva lalat BSF akan mengeluarkan senyawa kimia yang mencegah lalat *M. domestica* untuk bertelur di tempat yang sama (Tomberlin et al. 2009).

Disamping itu, larva BSF dilaporkan bersifat sebagai antibiotik. Studi antibakteri yang dilakukan di Korea menunjukkan bahwa larva BSF yang diekstrak dengan pelarut metanol memiliki sifat sebagai antibiotik pada bakteri Gram positif, seperti *Klebsiella pneumoniae*, *Neisseria gonorrhoeae* dan *Shigella sonnei*. Sebaliknya, hasil analisis tersebut juga menunjukkan bahwa ekstrak larva ini tidak efektif untuk bakteri Gram positif, seperti *Bacillus subtilis*, *Streptococcus mutans* dan *Sarcina lutea* (Choi et al. 2012). Ekstrak metanol larva BSF mampu menghambat proliferasi bakteri Gram negatif, sehingga pemanfaatannya sebagai sumber pakan ternak akan bermakna ganda, yaitu kandungan proteinnya yang tinggi dan kandungan antibiotik untuk membunuh bakteri Gram negatif yang merugikan. Pelarut kimia yang lain juga diuji untuk mengekstraksi larva antara lain pelarut air, etanol, heksan dan kloroform, namun tidak memberikan efek antibiotik. Laporan lain menyebutkan bahwa larva BSF mampu menurunkan populasi *Salmonella* spp hingga 6 log₁₀ pada feses manusia selama delapan hari, tetapi tidak efektif untuk bakteri *Enterococcus* spp dan bakteriofag ϕ X174 (Lalander et al. 2013). Larva BSF ini mampu menurunkan populasi *Escherichia coli* O157:H7 dan *Salmonella enterica* serovar *Enteritidis* pada kotoran unggas (Erickson et al. 2004) dan *E. coli* pada kotoran sapi perah (Liu et al. 2008).

Beberapa penelitian membuktikan bahwa apabila larva BSF memakan kotoran unggas atau limbah yang mengandung bakteri patogen maka di dalam tubuh sebagian prepupa akan ditemukan bakteri yang sama, meskipun dalam jumlah yang sangat rendah. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi terjadinya transfer bakteri tersebut ke ternak maka disarankan untuk dilakukan pengolahan. Lalander et al. (2013) merekomendasikan untuk mengeringkan prepupa terlebih dahulu sebelum diberikan sebagai pakan ternak. Pengolahan dalam bentuk pelet yang melalui proses pengeringan dapat mengeliminasi potensi terjadinya penularan bakteri patogen, seperti *Salmonella* spp.

Larva BSF juga dilaporkan mampu menurunkan daya tahan hidup virus. Lalander et al. (2015) melakukan pengamatan terhadap konsentrasi virus yang diinokulasikan pada sampah organik selama 14 hari. Virus golongan enterovirus terbukti paling peka terhadap aktivitas larva BSF dibandingkan dengan adenovirus dan reovirus. Beberapa faktor yang diduga berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi virus antara lain karena aktivitas larva, adsorpsi ke dalam partikel dan terjadinya mekanisme inaktivasi amoniak. Selain itu, larva BSF juga diuji efektivitasnya terhadap viabilitas telur *Ascaris suum*. Namun, hasil penelitian menunjukkan bahwa aktivitas larva BSF hanya mampu mengurangi telur *A. suum* antara 37-44% yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan kontrol (Lalander et al. 2015).

Studi lain membuktikan bahwa larva BSF berpotensi juga sebagai sumber biodiesel alternatif. Sebanyak 1.248,6 g kotoran segar sapi perah yang diurai oleh 1.200 larva BSF dalam waktu 21 hari dilaporkan dapat menghasilkan biodiesel. Dari formula tersebut diperoleh sekitar 70,8 g larva kering dan diproses untuk menghasilkan sekitar 15,8 g biodiesel. Residu larva pasca-pemrosesan dapat digunakan untuk pakan ternak (Li et al. 2011).

ANALISIS EKONOMI *BLACK SOLDIER FLY*

Dibandingkan dengan harga tepung larva lalat hijau (*Calliphoridae*), harga tepung larva BSF relatif lebih mahal, tetapi lebih murah jika dibandingkan dengan tepung ikan. Harga tepung larva lalat hijau dilaporkan berkisar Rp. 1.500 sampai Rp. 2.000 per kilogram, sedangkan tepung ikan lokal berkisar Rp. 12.000 per kilogram dan tepung ikan impor mencapai Rp. 15.000 per kilogram (Hadadi et al. 2007). Rachmawati et al. (2010) menyebutkan bahwa harga pelet berbasis larva BSF yang diproduksi di daerah Sungai Gelam (Jambi) adalah Rp. 3.500 per kilogram dengan harga bungkil kelapa sawit berkisar Rp. 1.200 per kilogram. Harga ini lebih murah dibandingkan dengan harga pelet komersial yang mencapai Rp.

7.000-10.000 per kilogram sehingga secara ekonomis cukup menguntungkan bagi peternak. Harga yang sama juga dilaporkan oleh Fahmi (2010) yaitu Rp. 2.000 per kilogram untuk prepupa BSF yang dijual ke unit pembuatan pakan, selanjutnya dijual kembali dalam bentuk pelet dengan harga Rp. 3.500 per kilogram.

Upaya pencarian sumber protein alternatif tidak akan berarti jika bahan bakunya tidak dapat diproduksi secara massal, baik dalam skala petani maupun industri. Media perkembangan larva BSF yang berbasis limbah organik merupakan faktor yang penting dalam proses produksi, karena tidak berkompetisi dengan kebutuhan manusia sehingga tidak menjadi pesaing dalam pemanfaatannya seperti penggunaan tepung ikan maupun tepung kedelai. Oleh karena itu, lokasi budidaya larva BSF sebaiknya berdekatan dengan sumber limbah organik sehingga keberlangsungan budidaya larva ini sebagai sumber protein alternatif pakan ternak dapat berjalan berkesinambungan, termasuk menjaga kestabilan harga yang mudah dijagkau oleh para peternak.

KESIMPULAN

Sebagai sumber pakan BSF mengandung protein tinggi (40-50%). Secara ilmiah telah terbukti bahwa pemanfaatan tepung BSF pada babi, ayam petelur ayam pedaging dan burung puyuh sebagai sumber alternatif protein dalam pakan ternak mempunyai prospek yang bagus. Pemanfaatan tepung BSF ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan peternak pada protein dari tepung ikan dan tepung kedelai yang harganya semakin mahal dan terbatas ketersediaannya. Disamping dapat menjaga dan meningkatkan produksi ternak, tepung BSF juga mengandung senyawa yang bersifat sebagai antibiotika dan antiviral sehingga dari segi kesehatan ternak juga menguntungkan. Kemampuannya dalam mengurai limbah organik sebagai media perkembangbiakannya dan tingginya toleransi pada variasi iklim di lingkungan tropis menjadikan BSF mudah untuk diproduksi dalam skala massal di tingkat peternak maupun industri. Dengan demikian, pemanfaatan BSF sebagai sumber protein alternatif mampu mengurangi biaya produksi dalam industri peternakan tanpa harus menurunkan kualitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adeniyi, Victoria O, Folorunsho, Yemi C. 2015. Performance of *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fed dietary levels of Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) prepupa meal as a protein supplement. Int J Res Fish Aquac. 5:89-93.
- Arief M, Ratika NA, Lamid M. 2012. Pengaruh kombinasi media bungkil kelapa sawit dan dedak padi yang difermentasi terhadap produksi maggot *Black Soldier*

- Fly (Hermetia illucens)* sebagai sumber protein pakan ikan. *J Ilmu Perikanan dan Kelautan*. 4:1-5.
- Banjo AD, Lawal OA, Olusole OO. 2005. Bacteria associated with *Hermetia illucens* (Linnaeus) diptera: *Stratiomyidae*. *Asian J Microbiol Biotechnol Environ Sci Pap*. 7:351-354.
- Banks IJ, Gibson WT, Cameron MM. 2014. Growth rates of Black Soldier Fly larvae on fresh human faeces and their implication for improving sanitation. *Trop Med Int Heal*. 19:14-22.
- Barros-Cordeiro KB, Nair Bão S, Pujol-Luz JR. 2014. Intra-puparial development of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*. *J Insect Sci*. 14:1-10.
- Beski SSM, Swick RA, Iji PA. 2015. Specialised protein products in broiler chicken nutrition: A review. *Anim Nutr*. 1:47-53.
- Bosch G, Zhang S, Dennis GABO, Wouter HH. 2014. Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. *J Nutr Sci*. 3:1-4.
- Briscoe AD, Chittka L. 2001. The evolution of color vision in insects. *Annu Rev Entomol*. 46:471-510.
- Charlton AJ, Dickinson M, Wakefield ME, Fitches E, Kenis M, Han R, Zhu F, Kone N, Grant M, Devic E, et al. 2015. Exploring the chemical safety of fly larvae as a source of protein for animal feed. *J Insects Food Feed*. 1:7-16.
- Choi WH, Yun JH, Chu JP, Chu KB. 2012. Antibacterial effects of extract of *Hermetia illucens* (Diptera: *Stratiomyidae*) larvae against Gram-negative bacteria. *Entomol. Res*. 42:219-226.
- Čičková H, Newton GL, Lacy RC, Kozánek M. 2015. The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Manag*. 35:68-80.
- De Haas EM, Wagner C, Koelmans AA, Kraak MHS, Admiraal W. 2006. Habitat selection by chironomid larvae: Fast growth requires fast food. *J Anim Ecol*. 75:148-155.
- Diener S, Studt Solano NM, Roa Gutiérrez F, Zurbrugg C, Tockner K. 2011. Biological treatment of municipal organic waste using Black Soldier Fly larvae. *Waste Biomass Valorization*. 2:357-363.
- Dong SZ, Chen YF, Huang YH, Feng DY. 2009. Research on feed characteristics of *Bacillus natto*. *Chinese J Anim Nutr*. 21:371-378.
- Elwert C, Knips I, Katz P. 2010. A novel protein source: Maggot meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) in broiler feed. In: *Tagung Schweine-und Gefugelnahrung* (Lutherstadt Witterberg, 23-25 Novemb 2010). Halle (Germany): Institut fur Agrar-und Ernahrungswissenschaften. Universitat Halle-Wittenberg. p. 140-142.
- Erickson MC, Islam M, Sheppard C, Liao J, Doyle MP. 2004. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar *Enteritidis* in chicken manure by larvae of the Black Soldier Fly. *J Food Prot*. 67:685-690.
- Fahmi MR, Hem S, Subamia IW. 2007. Potensi maggot sebagai salah satu sumber protein pakan ikan. Dalam: *Dukungan Teknologi untuk Meningkatkan Produk Pangan Hewan dalam Rangka Pemenuhan Gizi Masyarakat*. Prosiding Seminar Nasional Hari Pangan Sedunia XXVII. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak. hlm. 125-130.
- Fahmi MR. 2010. Manajemen pengembangan maggot menuju kawasan pakan mina mandiri. Dalam: *Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur*. Jakarta (Indonesia): Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan. hlm. 763-767.
- FAO. 2013. *Edible insects: Future prospects for food and feed security*. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gobbi P, Martínez-Sánchez A, Rojo S. 2013. The effects of larval diet on adult life-history traits of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: *Stratiomyidae*). *Eur J Entomol*. 110:461-468.
- Hadadi A, Herry, Setyorini, Surahman A, Ridwan E. 2007. Pemanfaatan limbah sawit untuk bahan pakan ikan. *J Budidaya Air Tawar*. 4:11-18.
- Holmes LA, Vanlaerhoven SL, Tomberlin JK. 2013. Substrate effects on pupation and adult emergence of *Hermetia illucens* (Diptera: *Stratiomyidae*). *Environ Entomol*. 42:370-374.
- Katayane AF, Wolayan FR, Imbar MR. 2014. Produksi dan kandungan protein maggot (*Hermetia illucens*) dengan menggunakan media tumbuh berbeda. *J Zootek*. 34:27-36.
- Lalander C, Diener S, Magri ME, Zurbrugg C, Lindstrom A, Vinneras B. 2013. Faecal sludge management with the larvae of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*)-from a hygiene aspect. *Sci Total Environ*. 458-460:312-318.
- Lalander CH, Fidjeland J, Diener S, Erikson S, Vinneras B. 2015. High waste-to-biomass conversion and efficient *Salmonella* spp reduction using Black Soldier Fly for waste recycling. *Agron Sustain Dev*. 35:261-271.
- Li Q, Zheng L, Qiu N, Cai H, Tomberlin JK, Yu Z. 2011. Bioconversion of dairy manure by Black Soldier Fly (Diptera: *Stratiomyidae*) for biodiesel and sugar production. *Waste Manag*. 31:1316-1320.
- Liu Q, Tomberlin JK, Brady JA, Sanford MR, Yu Z. 2008. Black Soldier Fly (Diptera: *Stratiomyidae*) larvae reduce *Escherichia coli* in dairy manure. *Environ Entomol*. 37:1525-1530.
- Makkar HPS, Tran G, Heuze V, Ankeas P. 2014. State of the art on use of insects as animal feed. *Anim Feed Sci Technol*. 197:1-33.
- Mangunwardoyo W, Aulia, Hem S. 2011. Penggunaan bungkil inti kelapa sawit hasil biokonversi sebagai

- substrat pertumbuhan larva *Hermetia illucens* L (maggot). *Biota*. 16:166-172.
- Maurer V, Holinger M, Amsler Z, Fruh B, Wohlfahrt J, Stamer A, Leiber F. 2016. Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in diets for layers. *J Insect Food Feed*. 2:83-90.
- McShaffrey D. 2013. *Hermetia illucens*-Black Soldier Fly-*Hermetia illucens*. Bugguide.net [internet]. [cited 31 May 2016]. Available from: <http://bugguide.net/node/view/874940/bimage>
- Myers HM, Tomberlin JK, Lambert BD, Kattes D. 2008. Development of Black Soldier Fly (Diptera: *Stratiomyidae*) larvae fed dairy manure. *Environ Entomol*. 37:11-15.
- Newton GL, Booram C V., Barker RW, Hale OM. 1977. Dried *Hermetia illucens* larvae meal as a supplement for swine. *J Anim Sci*. 44:395-400.
- Newton GL, Sheppard DC, Watson DW, Burtle GJ, Dove CR. 2005. Using the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. Report of the Animal and Poultry Waste Management Center, North Carolina State University. Raleigh (US): North Carolina State University.
- Oyegoke OO, Akintola AJ, Fasoranti JO. 2006. Dietary potentials of the edible larvae of *Cirina forda* (westwood) as a poultry feed. *African J Biotechnol*. 5:1799-1802.
- Premalatha M, Abbasi T, Abbasi T, Abbasi SA. 2011. Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects. *Renew Sustain Energy Rev*. 15:4357-4360.
- Rachmawati, Buchori D, Hidayat P, Hem S, Fahmi MR. 2010. Perkembangan dan kandungan nutrisi larva *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: *Stratiomyidae*) pada bungkil kelapa sawit. *J Entomol Indones*. 7:28-41.
- Rambet V, Umboh JF, Tulung YLR, Kowel YHS. 2016. Kecernaan protein dan energi ransum *broiler* yang menggunakan tepung maggot (*Hermetia illucens*) sebagai pengganti tepung ikan. *J Zootehnik*. 36:13-22.
- Sheppard DC, Tomberlin JK, Joyce JA, Kiser BC, Sumner SM. 2002. Rearing methods for the Black Soldier Fly (Diptera: *Stratiomyidae*). *J Med Entomol*. 39:695-698.
- Sundu B, Dingle J. 2003. Use of enzymes to improve the nutritional value of palm kernel meal and copra meal. *Proc Quensl Poult Sci Symp Aust*. 11:1-15.
- Tomberlin JK, Adler PH, Myers HM. 2009. Development of the Black Soldier Fly (Diptera: *Stratiomyidae*) in relation to temperature. *Environmental Entomol*. 38:930-934.
- Tomberlin JK, Sheppard DC, Joyce JA. 2002. Selected life-history traits of Black Soldier Flies (Diptera: *Stratiomyidae*) reared on three artificial diets. *Ann Entomol Soc Am*. 95:379-386.
- Tomberlin JK, Sheppard DC. 2002. Factors influencing mating and oviposition of Black Soldier Flies (Diptera: *Stratiomyidae*) in a colony. *J Entomology Sci*. 37:345-352.
- Van Huis A. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annu Rev Entomol*. 58:563-583.
- Veldkamp T, Bosch G. 2015. Insects: A protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. *Anim Front*. 5:45-50.
- Veldkamp TG, Van Duinkerken A, Van Huis A, Lakemond CMM, Ottevanger E, Bosch G, Van Boekel. 2012. Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets-a feasibility study. Wageningen (Netherlands): Wageningen UR Livestock Research.
- Wang D, Shao WZ, Chuan XZ, Yao YB, Shi HA, Ying NX. 2005. Evaluation on nutritional value of field crickets as a poultry feedstuff. *Asian-Australas J Anim Sci*. 18:667-670.
- Wardhana AH, Muharsini S. 2004. Studi pupa lalat penyebab Myiasis, *Chrysomya bezziana* di Indonesia. Dalam: Thalib A, Sendow I, Purwadaria T, Tarmudji, Darmono, Triwulanningsih E, Beriajaya, Natalia L, Nurhayati, Ketaren PP, et al., penyunting. *Iptek sebagai Motor Penggerak Pembangunan Sistem dan Usaha Agribisnis Peternakan*. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. Bogor, 4-5 Agustus 2004. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak. hlm. 702-710.
- Widjastuti T, Wiradimadja R, Rusmana D. 2014. The effect of substitution of fish meal by Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) maggot meal in the diet on production performance of quail (*Coturnix coturnix japonica*). *Anim Sci*. 57:125-129.
- Yu G, Cheng P, Chen Y, Li Y, Yang Z, Chen Y, Tomberlin JK. 2011. Inoculating poultry manure with companion bacteria influences growth and development of Black Soldier Fly (Diptera: *Stratiomyidae*) larvae. *Environ Entomol*. 40:30-35.
- Zakova M, Barkovcova M. 2013. Comparison of field and lab application of *Hermetia illucens* larvae. *Mendelnet*. 2013:798-801.
- Zarkani A, Miswati. 2012. Teknik budidaya larva *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: *Stratiomyidae*) sebagai sumber protein pakan ternak melalui biokonversi limbah *loading ramp* dari pabrik CPO. *J Entomol Indonesia*. 9:49-56.
- Zhang J, Huang L, He J, Tomberlin KJ, 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*. *J Insect Sci*. 10:1-7.