Pemanfaatan Jangkrik (*Gryllus bimaculatus*), Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*), Ulat Hongkong (*Tenebrio molitor*), dan Ulat Sutera (*Samia ricini* dan *Bombyx mori*) sebagai Sumber Protein Pakan Alternatif

(Utilization of Cricket (*Gryllus bimaculatus*), Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*), Mealworm (*Tenebrio molitor*), and Silkworm (*Samia ricini* dan *Bombyx mori*) as Alternative Feed Protein Sources)

Agustin Herliatika¹, D Permatahati², Y Pujiawati³, GE Tresia⁴ dan E Wina¹

¹Balai Penelitian Ternak, PO Box 221 Bogor, Jawa Barat 16002, Indonesia

²Alumni Departemen Ilmu Nutrisi dan Pakan Institut Pertanian Bogor, Jl. Agatis Kampus IPB, Babakan, Dramaga, Babakan, Kec. Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680, Indonesia

³Balai Pengkajian Teknologi Pertanian, Jl. Bypass Ngurah Rai Jl. Pesanggaran, Pedungan, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali 80221, Indonesia

⁴Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan, Jl. Raya Pajajaran Kav. E-59 Bogor, Jawa Barat 16128, Indonesia
Kontributor utama: tikaagustinerherlia@gmail.com

(Diterima 3 September 2021 – Direvisi 15 November 2021 – Disetujui 8 Desember 2021)

ABSTRACT

The insect which contains high protein is potential to be used as an unconventional protein source (UPS) in feed. Production cost of this feedstuff is affordable through utilization of waste as growing media. Moreover, this production helps the environment by reducing the unprocessed waste. This study aims to review the potential use of cricket, black soldier fly (BSF), mealworm, and silkworm as UPS in replacing fish meal (FM) and soybean meal (SM) in the feed. The insect meal contains relative similar crude protein but higher ether-extract compared to conventional protein sources. The insect meal contains higher tyrosine but lower arginine, histidine, lysine, and tryptophan compared to FM and SM. The chitin content in UPS decreases the digestibility, causing restriction its utilization in the diet. However, it can be used as antibacterial and antifungal in feed, and in ruminant, it can be used to mitigate enteric methane emission. UPS in layer and broiler diet can replace SM, meanwhile, in quail diet, it can replace FM. From different sources, it can be summarized that the potential addition of BSF, cricket, mealworm, and silkworm in the broiler's diet is 8%DM replacing 100% SM, 5-15%DM replacing 40-100% FM, 5-29,5%DM replacing 3-100% SM, and 7,8%DM replacing 100% SM, respectively. The potential addition of BSF and mealworm in the layer's diet is 10-15%DM replacing 66-100% SM and 2-5%DM replacing 21% SM, respectively. The potential addition of cricket, mealworm, and silkworm in the quail's diet is 2-8%DM replacing 25-100% FM, 2,25%DM replacing 25% FM, and 2,08-6,25%DM replacing 26-76% FM, respectively.

Key words: Cricket, black soldier fly, mealworm, silkworm, insect, feed

ABSTRAK

Serangga memiliki kandungan protein tinggi sehingga berpotensi digunakan sebagai pakan sumber protein alternatif. Biaya produksi bahan pakan asal serangga sangat terjangkau karena memanfaatkan limbah sebagai media tumbuh. Pemanfaatan tersebut memberikan kontribusi terhadap lingkungan melalui pengurangan jumlah limbah yang tidak dikelola. Tulisan ini bertujuan untuk mengulas potensi pemanfaatan jangkrik, *Black Soldier Fly* (BSF), ulat hongkong, dan ulat sutera sebagai sumber-sumber protein alternatif menggantikan tepung ikan dan bungkil kedelai dalam pakan yang dikaji berdasarkan profil nutrisi. Selain PK yang relatif sama, tepung serangga memiliki kandungan LK yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumber protein pakan konvensional. Tepung serangga memiliki kandungan tirosin yang lebih tinggi, serta kandungan arginin, histidin, lisin, dan triptofan yang lebih rendah dibandingkan dengan bungkil kedelai (KD) dan tepung ikan (TI). Kandungan kitin pada tepung serangga menyebabkan penurunan pencernaan pakan sehingga dapat membatasi penggunaannya. Namun, tepung serangga berpotensi digunakan sebagai antibakteri, antifungi, dan pada ruminansia, penggunaannya membantu upaya mitigasi gas metana enterik. Sumber protein alternatif dalam pakan ayam petelur maupun ayam pedaging berpotensi menggantikan bungkil kedelai, sedangkan dalam pakan burung puyuh berpotensi menggantikan tepung ikan. Potensi pemanfaatan BSF, jangkrik, ulat hongkong, dan ulat sutera pada ayam pedaging sebesar 8%BK menggantikan 100% KD, 5-15%BK menggantikan 40-100% TI, 5-29,5%BK menggantikan 3-100% KD, dan 7,8%BK menggantikan 100% KD. Potensi pemanfaatan BSF dan ulat hongkong pada ayam petelur sebesar 10-15%BK menggantikan 66-100% KD dan 5%BK menggantikan 21% KD. Potensi pemanfaatan jangkrik, ulat

hongkong, dan ulat sutera pada burung puyuh sebesar 2-8%BK menggantikan 25-100% TI, 2,25%BK menggantikan 25% TI, dan 2,08-6,25%BK menggantikan 26-76% TI.

Kata kunci: Jangkrik, *black soldier fly*, ulat hongkong, ulat sutera, serangga, pakan

PENDAHULUAN

Penggunaan serangga sebagai sumber protein dalam pakan ternak telah banyak dilakukan di sejumlah negara termasuk Indonesia. Menurut Siemianowska et al. (2013) serangga berpotensi digunakan sebagai sumber makanan bergizi bagi manusia dan ternak karena mengandung protein cukup tinggi seperti halnya daging dan ikan. Penelitian lain melaporkan bahwa serangga dapat digunakan sebagai sumber protein alternatif ternak monogastrik karena memiliki kandungan protein serta nutrisi lain berupa lemak, mineral, dan vitamin yang tinggi (Khusro et al. 2012; Makkar et al. 2014; Sánchez-Muros et al. 2014). Selain memiliki kandungan nutrisi yang tinggi, menurut van Huis et al. (2015) protein yang bersumber pada serangga bersifat lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Hal ini disebabkan karena proses produksi serangga seperti *Black Soldier Fly* (BSF), maggot BSF, dan ulat hongkong pada umumnya memanfaatkan limbah sebagai media pembiakan sehingga biaya produksi menjadi lebih terjangkau. Pemanfaatan limbah sebagai media tumbuh juga akan mengurangi dampak pencemaran lingkungan. Selanjutnya, limbah hasil produksi serangga seperti pupa ulat sutera dan jangkrik afkir juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber protein alternatif. Akan tetapi, kajian Taufek et al. (2016) menunjukkan biaya produksi pakan akan semakin tinggi dengan semakin tingginya pemanfaatan serangga dalam pakan. Peningkatan biaya produksi tersebut terjadi akibat produksi serangga umumnya masih dilakukan dalam skala kecil sehingga efisiensi produksi masih belum dapat tercapai. Peningkatan biaya tersebut akan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kebutuhan terhadap serangga sebagai bahan pakan.

Beberapa jenis serangga yang telah diaplikasikan sebagai pakan unggas, babi, ikan, dan ruminansia adalah larva *Black Soldier Fly* (BSF), maggot BSF, ulat hongkong, belalang-jangkrik, dan ulat sutera (Makkar et al. 2014). Serangga-serangga tersebut dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bungkil kedelai atau tepung ikan dalam pakan (Makkar et al. 2014). Hasil studi metaanalisis menunjukkan bahwa jenis serangga yang sering digunakan adalah larva BSF, ulat hongkong, maggot BSF, belalang dan lainnya (jangkrik dan ulat sutera) dalam ransum unggas (Moula & Dettelleux 2019). Meski demikian, pengkajian terhadap peran serangga sebagai pengganti sumber protein konvensional masih terus diperlukan akibat keragaman jenis serangga yang tinggi.

Beberapa studi telah melaporkan nilai ekonomis dan efisiensi produksi pemanfaatan serangga sebagai sumber protein alternatif (Fuah et al. 2015; M.A. Khan et al. 2018; Permatahati et al. 2019). Akan tetapi, pengkajian terhadap kandungan nutrisi dari serangga dalam menggantikan bahan pakan sumber protein konvensional masih terbatas. Berdasarkan fakta tersebut maka pengkajian nutrisi beberapa jenis serangga sebagai sumber protein alternatif pengganti sumber protein konvensional masih perlu dilakukan. Oleh karena itu, tulisan ini bertujuan untuk mengulas potensi pemanfaatan sumber protein alternatif asal serangga (jangkrik, *black soldier fly*, ulat hongkong, dan ulat sutera) dalam menggantikan tepung ikan dan bungkil kedelai berdasarkan profil nutrisinya.

KANDUNGAN NUTRISI SUMBER PROTEIN PAKAN ALTERNATIF

Beberapa jenis serangga yang umum digunakan sebagai sumber pakan alternatif antara lain adalah: jangkrik, BSF, ulat hongkong, dan ulat sutera. Serangga tersebut telah diproduksi pada beberapa usaha tertentu. Jangkrik saat ini telah tersedia di pasar lokal sebagai *edible insect* untuk pakan ternak (Bosch et al. 2014; Fuah et al. 2015; van Huis et al. 2015). Tepung BSF umumnya digunakan sebagai pakan babi, ayam petelur, ayam pedaging, dan burung puyuh (Wardhana 2016), demikian juga dengan ulat hongkong. Ulat sutera juga telah dikembangkan untuk menghasilkan sutera dengan kokon sebagai produk samping yang digunakan dalam usaha kerajinan (Estetika & Endrawati 2018).

Kandungan nutrisi serangga sebagai sumber protein alternatif dan beberapa sumber protein konvensional dapat dilihat pada Tabel 1. Kandungan protein kasar (PK) pada sumber protein alternatif asal serangga sebesar 45,2-67,4%, sedangkan sumber protein konvensional yaitu tepung ikan memiliki kandungan PK sebesar 60,2-73,0% dan bungkil kedelai memiliki kandungan PK sebesar 46,8-50,4%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kandungan PK pada sumber protein alternatif dapat setara dengan kandungan PK sumber protein konvensional. Akan tetapi, jika dilihat dari fraksi protein yaitu kandungan *neutral detergent insoluble crude protein* (NDICP) dari jangkrik, ulat hongkong, larva BSF 1 minggu, dan bungkil kedelai masing-masing sebesar 37,9%PK, 26,4%PK, 47%PK, dan 16,6%PK, sedangkan *acid detergent insoluble crude protein* (ADICP) masing-masing sebesar 9,8%PK, 6,7%PK, 9,2%PK, dan

4,7%PK (Jayanegara et al. 2017). Nitrogen dalam NDICP dan ADICP mungkin berasal dari senyawa kitin yang berikatan atau terlindungi oleh serta sehingga tidak dapat dicerna. Nilai NDICP dan ADICP yang semakin tinggi menunjukkan semakin tinggi protein yang tidak dapat dimanfaatkan oleh ternak non ruminan maupun ruminan. Kandungan NDICP dan ADICP pada sumber protein alternatif yang lebih tinggi dibandingkan dengan bungkil kedelai menjadi salah satu pembatas pemanfaatan bahan tersebut sebagai pakan ternak.

Kandungan lemak kasar (LK) pada sumber protein alternatif juga cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan sumber protein konvensional, yakni 12,2-31,29% pada sumber protein alternatif dan 4,11-8,20% pada sumber protein konvensional. Kandungan lemak yang tinggi menjadi pembatas dalam penggunaan maggot (Hidayat 2018). Oleh sebab itu, ada proses untuk mengurangi lemak (*defatted*). Proses penghilangan lemak sebagian (*partially defatted*) dilakukan oleh Matin et al. (2021) tanpa menyebutkan caranya. dan proses ini menghasilkan kandungan

nutrisi maggot dan maggot *partially defatted* yang tidak jauh berbeda (Tabel 1). Hal ini disebabkan karena proses penghilangan lemak yang dilakukan pada maggot hanya sebagian saja sehingga kandungan LK pada maggot yang *partially defatted* tidak jauh berbeda dengan maggot sebelum *defatting*, demikian juga dengan kandungan nutrisi lainnya. Namun, bila BSF dipress dengan mesin, kandungan lemak pada maggot berkurang drastis hingga tinggal 20% dari lemak sebelumnya (Traksele et al. 2021). Hal ini menyebabkan peningkatan kandungan protein sebesar 2 kali dan nilai pencernaan protein sebesar 1,6 kali pada tepung larva BSF setelah *defatting* dibandingkan dengan tepung larva BSF tanpa *defatting*.

Selain itu perbedaan kandungan nutrisi BSF dapat terjadi akibat perbedaan tingkat pertumbuhan. Hasil penelitian Soetemans et al. (2020) menunjukkan bahwa BSF pada tingkat pertumbuhan larva, prepupa, pupa, *shedding*, dan kokon memiliki kandungan abu yang berbeda, yakni masing-masing sebesar 12% BK, 12,2% BK, 10,7% BK, 24,5% BK, dan 19,4% BK.

Tabel 1. Kandungan nutrisi bahan pakan sumber protein

Kandungan nutrisi (%BK kecuali disertakan)	Sumber protein alternatif						Sumber protein konvensional	
	Maggot (<i>Hermetia illucens</i>) ¹	Maggot <i>partially defatted</i> (<i>Hermetia illucens</i>) ¹	Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>) ^{1,2}	Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>) ^{3,8,11}	Ulat sutra (<i>Samia ricini</i>) ⁴	Ulat sutra (<i>Bombyx mori</i>) ^{5,12}	Tepung ikan ^{6,7,10,13}	Bungkil kedelai ^{6,7,8,9,10,13}
PK	45,20-58,10	56,7	67,70-67,40	52,40-64,50	54,00-54,80	54,55-57,21	60,2-73,00	41,14-61,23
LK	19,00-20,70	12,2	14,00-19,40	20,30-28,00	25,00-26,2	29,05-31,29	4,11-10,70	0,81-3,60
ADF	7,44-9,85	13,8	10,80-13,10	7,17-10,80				
NDF	12,40-32,70	21,2	36,00-39,30	41,40	3,14-3,62*	2,39-4,84*	0,80-1,10	4,49-8,63*
Ca	1,34-3,65	0,91	0,14	0,05	0,71-0,77	0,11	4,06-5,46	0,18-0,53
P	0,85-1,11	0,87	0,82	0,85	0,57-0,59	0,27	2,69-3,14	0,64-0,87
Na	0,12-0,18	0,24	0,43	0,07	-	-	0,44-0,96	0,01-0,12
GE (Kkal/kg BK)	5325-5159	5110	5877	5832	4596-4685	4756	4732	4345
TME (Kkal/kg BK)	3990-4250	3561	4223	-	-	-	-	-

¹(Matin et al. 2021); ²(Jayanegara et al. 2017); ³(De Marco et al. 2015); ⁴(Longvah et al. 2011); ⁵(Bhagat & Barat 2017); ⁶(Wang et al. 2005); ⁷(Barroso et al. 2013); ⁸(Joseph et al. 2008); ⁹(Ibáñez et al. 2020); ¹⁰(NRC 2000); ¹¹(Finke 2015); ¹²(Kim et al. 2017); ¹³(Allameh et al. 2007); *SK = Serat kasar; PK=Protein kasar; LK=Lemak kasar; ADF=Acid detergent fiber; NDF=Neutral detergent fiber; Ca= kalsium; P=fosfor; Na=natrium; GE=Gross energy; TME= True metabolizable energy

Tabel 2. Kandungan asam amino bahan pakan alternatif sumber protein

Asam amino (%BK)	Sumber protein alternatif					Sumber protein konvensional	
	Maggot (<i>Hermetia illucens</i>) ¹	Maggot <i>partially defatting</i> (<i>Hermetia illucens</i>) ¹	Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>) ¹	Ulat Hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>) ²	Ulat Sutra (<i>Bombyx mori</i>) ³	Tepung ikan ^{4,5,6}	Bungkil kedelai ^{5,7}
Asam aspartat	4,35-5,22	5,2	6,81	4,37	5,06	4,77-6,15	6,99
Treonin	1,89-2,24	2,33	2,63	1,85	2,17	2,25-4,57	2,10-4,81
Serin	1,85-2,12	2,46	3,22	2,27	2,06	2,0-2,596	7,42
Asam glutamat	5,16-5,65	6,47	7,46	6,29	5,28	6,02-8,33	11,93
Prolin	2,72-3,09	3,97	4,43	3,43	3,89	2,71-3,47	2,51-8,94
Glisin	3,02-3,47	4,44	6,9	2,21	2,00	2,8-3,11	11,14
Alanin	3,23-3,66	3,88	7,45	3,89	2,17	3,33-4,04	5,27
Sistin	0,57-0,67	0,64	0,73	1,25	0,78	0,49	0,94
Valin	4,08-4,69	7,45	6,31	2,82	2,61	2,62-4,06	2,75-4,33
Metionin	0,69-1,02	0,92	1,13	1,01	1,89	1,45-2,14	0,51-1,11
Isoleusin	2,14-2,66	2,65	3,31	2,21	1,89	2,33-3,68	2,76-4,00
Leusin	3,27-3,91	4,07	5,39	3,15	3,45	3,68-5,70	4,04-8,04
Tirosin	2,80-3,49	3,62	3,69	3,28	3,11	1,52-2,85	1,48-3,22
Fenilalanin	1,98-2,57	2,46	2,54	1,88	2,56	2,35-3,93	2,92-5,99
Lisin	3,36-4,48	3,88	4,32	3,59	3,39	4,51-6,41	3,20-5,44
Histidin	1,45-1,95	1,87	1,77	1,68	1,50	1,71-5,74	1,65-3,00
Arginin	2,16-2,86	2,84	4,17	2,8	2,61	3,24-5,42	4,05-5,67
Triptofan	0,66-0,84	0,81	0,7	-	0,83	-	1,65

¹(Matin et al. 2021); ²(Bosch et al. 2014); ³(Tomotake et al. 2010); ⁴(Wang et al. 2005); ⁵(Barroso et al. 2013); ⁶(Tazikeh et al. 2019); ⁷(Joseph et al. 2008)

Ulat sutera yang berbeda spesies juga memiliki kandungan nutrisi yang serupa (Tabel 1). Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat kandungan PK dan LK yang hampir sama pada serangga dengan jenis yang sama, meskipun spesies serangga tersebut berbeda.

Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kandungan protein (Dong et al. 2017) dan asam amino (Stull et al. 2019) dalam ulat sutera adalah jenis media pembiakan. Hasil kajian Ruth et al. (2019) bahwa komposisi nutrisi dalam tanaman inang ulat sutera mempengaruhi

performa pertumbuhan dan komposisi protein ulat sutera, sedangkan perbedaan jenis ulat sutera tidak memberikan perbedaan yang berarti pada kandungan protein kasar pupa ulat sutera *Samia ricini* dan *Bombyx mori* (Longvah et al. 2011; Bhagat & Sudip 2017). Tetapi, hasil penelitian Stull et al. (2019) menunjukkan bahwa ulat hongkong yang dibiakkan pada media berbeda selama 32 hari walaupun tidak menunjukkan perbedaan kandungan PK, namun terdapat perbedaan kandungan asam amino dari ulat hongkong yang dikembangkan dengan media berbeda.

Kandungan asam amino

Kandungan asam amino esensial (metionin, lisin, threonin, dan triptofan) dan non-esensial (valin, isoleusin, dan glisin) pada sumber protein alternatif dan konvensional memiliki nilai yang hampir sama bagi ternak unggas. Kandungan tirosin sumber protein alternatif lebih tinggi dibandingkan dengan tirosin dalam sumber protein konvensional, masing-masing sebesar 2,80-3,69% dibandingkan 1,48-2,85%. Sedangkan sumber protein konvensional memiliki kandungan arginin yang sedikit lebih tinggi (3,24-5,42% BK dan 2,16-2,86%), kecuali pada arginin jangkrik yang serupa dengan sumber protein konvensional yakni sebesar 4,17% BK.

Kandungan leusin dan isoleusin pada maggot dan jangkrik hampir sama dengan sumber protein konvensional (Tabel 2). Sedangkan kandungan kedua asam amino esensial tersebut pada ulat sutera dan ulat Hongkong lebih rendah dibandingkan dengan sumber protein konvensional, namun nilainya mendekati nilai pada tepung ikan.

Menurut Sánchez-Muros et al. (2014), tepung ikan kualitas tinggi memiliki kandungan histidin, lisin, dan triptofan lebih tinggi dibandingkan insekta termasuk ulat sutera. Kandungan histidin, lisin, dan triptofan sumber protein alternatif masing-masing sebesar 1,45-1,95% BK, 3,36-4,48% BK, dan 0,66-0,84% BK (Tabel 2), sedangkan kandungan 3 asam amino tersebut dalam tepung ikan berkualitas tinggi masing-masing sebesar 3,6% BK, 7,9% BK, dan 1% BK (Sánchez-Muros et al. 2014).

Kandungan asam lemak

Kandungan asam miristat, palmitat, dan stearat sebagai asam lemak jenuh pada sumber protein alternatif cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan sumber protein konvensional, yakni sebesar 3,55-13,86% BK dibandingkan 0,59-2,91% BK (Tabel 3). Menurut Lawal et al. (2021) kandungan 7 asam lemak jenuh (asam laurat, asam miristat, asam pentadecanoat, asam palmitat, asam margararat, asam stearat, dan asam

arachidonat) pada larva BSF adalah sebesar 59,13-86,75% total asam lemak, setara dengan 10,76-25,03% BK, sedangkan kandungan asam lemak jenuh larva ulat hongkong adalah sebesar 26,95-28,61% total asam lemak, setara dengan 8,69-11,33% BK. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan asam lemak jenuh pada Tabel 3, yakni 3,55-13,86% BK pada maggot dan 11,02% BK pada ulat hongkong. Hal ini disebabkan karena nilai pada Tabel 3 hanya menunjukkan 3 asam lemak jenuh, yakni asam miristat, palmitat, dan stearat.

Selain itu, kandungan asam palmitoleat, omega-3, omega-6, dan omega-9 sebagai asam tidak jenuh pada sumber protein alternatif juga cenderung lebih besar dibandingkan dengan sumber protein konvensional, yakni sebesar 3,46-22,96% BK dibandingkan 1,45-2,10% BK (Tabel 3). Menurut Lawal et al. (2021) kandungan asam lemak tidak jenuh pada larva BSF adalah sebesar 2,39-13,13% BK, sedangkan kandungan asam lemak tidak jenuh larva ulat hongkong adalah sebesar 22,81-32,42% BK. Kandungan asam lemak tidak jenuh penelitian tersebut tidak jauh berbeda dibandingkan dengan asam lemak jenuh pada Tabel 3, yakni 3,46-22,06% BK pada maggot dan 19,87% BK pada ulat Hongkong. Hal ini disebabkan karena nilai pada Tabel 3 menunjukkan 4 jenis asam lemak (asam palmitoleat, asam oleat, asam linoleat, dan asam linolenat) dan Lawal et al. (2021) menggunakan 5 jenis asam lemak jenuh (asam palmitoleat, asam oleat baik trans dan cis, asam erukat, asam linoleat, dan asam linolenat). Perbedaan nilai tersebut disebabkan oleh 1 jenis asam lemak yang tidak dihitung pada Tabel 3, yakni asam erukat yang nilainya cenderung kecil sehingga tidak memberikan perbedaan yang berarti pada nilai asam lemak tidak jenuh Tabel 3 dan Lawal et al. (2021).

Kandungan kitin

Kitin adalah senyawa kimia yang banyak terdapat pada serangga yaitu sebesar 2,59-31,1% BK. Nilai tersebut tergantung pada jenis serangga dan tahapan pertumbuhan serangga yang diamati. Sedangkan menurut Wang et al. (2005) sumber protein konvensional tidak memiliki kandungan kitin, baik pada sumber protein berbasis hewan (tepung ikan), maupun sumber protein yang berbasis tanaman (bungkil kedelai). Kandungan kitin ini akan berkontribusi pada nilai PK yang tinggi pada sumber protein alternatif ini dan diduga mengakibatkan terjadinya penurunan pencernaan BK, PK, LK, dan GE (Taufek et al. 2016).

Produk turunan kitin dari serangga, yakni kitosan dapat digunakan sebagai antibakteri dan antifungi. Produk kitosan dari ulat sutra ini memiliki aktivitas antibakteri (*Bacillus cereus*, *staphylococcus aureus*,

Tabel 3. Kandungan asam lemak bahan pakan sumber protein alternatif

Asam lemak (% BK)	Sumber protein alternatif						Sumber protein konvensional	
	Maggot (<i>Hermetia illucens</i>) ^{1a}	Maggot (<i>Hermetia illucens</i>) ^{1b}	Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>) ²	Larva Ulat Hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>) ³	Ulat Sutra (<i>Bombyx mori</i>) ⁴	Ulat Sutra (<i>Samia ricinii</i>) ⁵	Tepung ikan ⁶	Bungkil kedelai ⁶
Asam miristat (C14:0)	0,65-5,49	1,09-1,77	0,16-0,18	1,46	0,03	0,02-0,10	0,65	0
Asam palmitat (C16:0)	2,45-7,34	2,54-2,84	4,70-6,27	6,97	7,79	3,56-5,84	1,83	0,45
Asam palmitoleat (C16:1)	1,06-2,91	0,63-0,95	0,30-0,70	0,64	0,55	0,14-0,30	0,65	0
Asam stearat (C18:0)	0,45-1,03	0,48-0,57	1,18-1,90	2,59	1,45	0,61-0,90	0,43	0,14
Asam oleat (C18:1, n-9)	1,57-11,72	2,20-2,71	4,57-7,15	11,72	8,37	1,84-2,98	0,69	0,43
Asam linoleat (C18:2, n-6)	0,50-5,84	0,81-1,14	7,83-12,37	7,47	2,35	0,90-1,08	0,09	1,46
Asam linolenat (C18:3, n-3)	0,33-1,59	0,43-0,55	0,27-0,29	0,04	11,69	7,72-11,66	0,02	0,21

^{1a}(Ewald et al. 2020) maggot dengan sumber media berbeda; ^{1b}(Ewald et al. 2020) maggot dengan konsentrasi substrat berbeda; ²(Grapes et al. 1989) dengan BK merujuk pada (Mlček et al. 2018); ³(Paul et al. 2017); ⁴(Tomotake et al. 2010); ⁵(Shanker et al. 2006); ⁶(Barroso et al. 2013)

E.coli, dan *Klebsiella pneumoniae*) yang lebih tinggi dari amoxicillin dan antifungi (*Aspergillus niger*, *Trichophyton mentagrophytes*, *Candida albicans*, dan *Cryptococcus neoformans*) yang lebih tinggi dari clotrimazole (Battampara et al. 2020). Produk kitosan ini diperoleh dengan menghilangkan lemak dan menghilangkan protein yang secara tidak langsung akan menghilangkan mineral bahan untuk menghasilkan kitin serta kemudian penghilangan gugus asetil untuk menghasilkan kitosan sebesar 66,9% dari produk kitin yang dihasilkan (Battampara et al. 2020).

Kandungan kitin yang tidak diubah menjadi kitosan di dalam pakan juga memiliki potensi aktivitas antibakteri. Hal ini sesuai dengan Dong et al. (2021) yang melaporkan bahwa larva BSF yang telah dihilangkan kandungan lemaknya dapat menekan

pertumbuhan *Clostridium perfringens* pada percobaan *in vitro*. Selain itu percobaan *in vitro* pada ruminansia juga menunjukkan adanya penurunan gas metana akibat penggunaan tepung larva BSF (Jayanegara et al. 2017). Pemanfaatan 5%BK minyak serangga (maggot/jangkrik/ulat hongkong) dalam uji *in vitro*, dapat menekan produksi gas metana masing-masing penurunan sebesar 15,94%, 25,95%, dan 33,00% (Jayanegara et al. 2020). Sedangkan penggunaan kitosan sebanyak 1,5 g/kg secara *in-vitro* dapat menurunkan produksi metana sebanyak 32% (Jiménez-Ocampo et al. 2021). Oleh sebab itu, pemanfaatan serangga pada ternak ruminansia ditujukan pada pemanfaatan kitin sebagai bahan aditif atau minyak serangga sebagai suplemen untuk menekan produksi gas metana.

Tabel 4. Kandungan kitin bahan pakan sumber protein

Bahan pakan	Kandungan kitin (% BK)	Sumber
Larva BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	7,80-9,50	Soetemans et al. 2020
Larva BSF sebelum <i>defatting</i> (<i>Hermetia illucens</i>)	3,87	Traksele et al. 2021
Larva BSF setelah <i>defatting</i> (<i>Hermetia illucens</i>)	7,21	Traksele et al. 2021
Prepupa BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	9,10-10,90	Soetemans et al. 2020
Pupa BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	10,30-10,70	Soetemans et al. 2020
<i>Shedding</i> BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	23,70-31,10	Soetemans et al. 2020
Kokon BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	22,40-23,80	Soetemans et al. 2020
BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	5,60-8,40	Soetemans et al. 2020
Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>)	8,70	Wang et al. 2005
Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>)	7,15	Taufek et al. 2016
Larva ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	4,92	Song et al. 2018
Ulat sutera (<i>Bombyx</i> sp)	2,59-4,23	Paulino et al. 2006
Pupa ulat sutera*	18,00	Battampara et al. 2020
Cangkang telur ulat sutera*	6,00	Battampara et al. 2020
Tepung ikan	-	Wang et al. 2005
Bungkil kedelai	-	Wang et al. 2005

*Nama ilmiah tidak disertakan dalam literatur

APLIKASI PEMANFAATAN SUMBER PROTEIN PAKAN ALTERNATIF

Pemanfaatan serangga telah banyak dilakukan pada ternak, khususnya ternak unggas. Penggunaan serangga ini untuk pemenuhan kebutuhan protein pada ruminansia masih sangat terbatas. Sumber protein ruminan berasal dari sintesis protein mikroba di dalam rumen. Protein mikroba pada ruminan yang diberi pakan dengan kandungan protein tinggi menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan yang diberi pakan dengan kandungan karbohidrat bukan serat yang tinggi (Lu et al. 2019). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian pakan dengan kandungan protein yang tinggi pada ruminan menjadi tidak efisien.

Tabel 5 menunjukkan aplikasi penggunaan sumber protein alternatif tersebut di lapangan. Sumber protein alternatif dalam pakan ayam petelur maupun

ayam pedaging berpotensi menggantikan bungkil kedelai, sedangkan dalam pakan burung puyuh berpotensi menggantikan tepung ikan. Potensi pemanfaatan BSF, jangkrik, ulat hongkong, dan ulat sutera pada ayam pedaging sebesar 8%BK menggantikan 100% bungkil kedelai, 5-15%BK menggantikan 40-100% tepung ikan, 5-29,5%BK menggantikan 3-100% bungkil kedelai, dan 7,8%BK menggantikan 100% bungkil kedelai. Potensi pemanfaatan BSF dan ulat hongkong pada ayam petelur sebesar 10-15%BK menggantikan 66-100% bungkil kedelai dan 5%BK menggantikan 21% bungkil kedelai. Potensi pemanfaatan jangkrik, ulat hongkong, dan ulat sutera pada burung puyuh sebesar 2-8%BK menggantikan 25-100% tepung ikan, 2,25%BK menggantikan 25% tepung ikan, dan 2,08-6,25%BK menggantikan 26-76% tepung ikan.

Tabel 5. Aplikasi penggunaan sumber protein alternatif dalam pakan ternak

Serangga	Aplikasi pada ternak	Jumlah pemberian	Pengaruh	Sumber
Non-ruminansia/monogastrik				
Larva BSF <i>deffated</i> (<i>Hermetia illucens</i>)	Ayam petelur	10-15% dalam pakan menggantikan bungkil kedelai	(+) Peningkatan bobot badan <i>shaver white</i> (0,52-2,45%) dan meningkatkan skor kuning telur (13,58-17,80%) (-) meningkatkan retensi NDF pakan (59,07-68,87%) dan mengurangi berat telur/butir (1,56-2,25%)	Mwaniki et al. 2020
Maggot BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	Ayam pedaging	8% dalam pakan menggantikan bungkil kedelai	Pengaruh terhadap konsumsi pakan sama pengaruhnya dengan 10% bungkil kedelai dalam pakan (+) Meningkatkan pertambahan bobot badan (9,58%) dan mengurangi FCR (7,53%)	Khan et al. 2018
Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>)	Ayam pedaging	5-15% dalam pakan menggantikan tepung ikan	Pertambahan bobot badan, konsumsi pakan, dan efisiensi pakan (g pertumbuhan/kg pakan) sama dengan perlakuan tepung ikan dalam pakan	Wang et al. 2005
Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>)	Burung puyuh	2-8% dalam pakan komersial	(-) Menurunkan bobot badan akhir burung puyuh jantan (0,64-3,35%) (+) Meningkatkan persentase karkas jantan (0,40-2,29%) (+) Meningkatkan bobot badan akhir burung puyuh betina (7,24-8,76%) (+) Meningkatkan persentase karkas betina (3,21-7,39%)	Panjaitan et al. 2012
Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>)	Burung puyuh	6-8% dalam pakan menggantikan tepung ikan	(+) meningkatkan produksi telur (18,26-45,80%) dan meningkatkan bobot telur (13,44-41,56%)	Permatahati et al. 2019
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Burung puyuh	2,25% dalam pakan menggantikan tepung ikan	Nilai hematologi telur puyuh, FCR, berat telur sama dengan perlakuan tepung (+) menurunkan konsumsi pakan sebesar 9,42% (umur 1-5 minggu)	Zadeh et al. 2020
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Ayam pedaging	29,65% dalam pakan menggantikan bungkil kedelai	PBB ternak sama dengan perlakuan bungkil kedelai (+) menurunkan FCR (12,35%) dan meningkatkan panjang total usus sebesar (8,40%) (-) menurunkan pencernaan BK (2,04%), BO (2,03%), dan PK (8,19%) di ileal	Bovera et al. 2016
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Ayam pedaging	8,1% dalam pakan menggantikan bungkil kedelai	(+) Meningkatkan pertambahan bobot badan (13,71%), menurunkan konsumsi pakan (7,2%), mengurangi FCR (13,44%) selama 5 minggu pemeliharaan	Khan et al. 2018

Serangga	Aplikasi pada ternak	Jumlah pemberian	Pengaruh	Sumber		
Non-ruminansia/monogastrik						
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Ayam pedaging jantan	5-15% dalam pakan menggantikan bungkil kedelai	(+) Meningkatkan linear bobot badan umur 12 (7,32-24,74%) dan 25 hari (2,17-15,11%) serta menurunkan bobot badan umur 53 hari secara kuadratik (3,47-11,69%)	Biasato et al. 2018		
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Ayam pedaging	1-3 g BK <i>as fed</i> dalam pakan	(+) meningkatkan pertambahan bobot badan sebesar (6,76-14,94%) dan menurunkan FCR (6,47-12,94%) dari kelompok kontrol selama 6 minggu pemeliharaan	Hussain et al. 2017		
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Babi masa pertumbuhan	9,95% dalam pakan menggantikan tepung ikan, tepung daging, atau tepung limbah unggas	(+) Tren peningkatan pencernaan BK di ileal dibandingkan dengan tepung ikan, tepung daging, dan tepung unggas sebesar 6,03%, 2,82%, dan 2,04% (+) Tren peningkatan pencernaan GE di ileal dibandingkan dengan tepung ikan, tepung daging, dan tepung unggas sebesar 7,07%, 1,29%, dan 1,90% (+) Tren peningkatan pencernaan PK di ileal dibandingkan dengan tepung ikan, tepung daging, dan tepung unggas sebesar 5,34%, 3,25%, dan 1,95% (+) Tren peningkatan pencernaan total asam amino di ileal dibandingkan dengan tepung ikan, tepung daging, dan tepung unggas sebesar 4,95%, 3,11%, dan 1,85%	Yoo et al. 2019		
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Ayam petelur	5% dalam pakan untuk menggantikan bungkil kedelai	Kestabilan mikroba dan produksi micotoksin dalam pakan, panjang vili, dan mikroba di sekum nilainya sama dengan perlakuan bungkil kedelai (+) meningkatkan viskositas digesta di ileum (20,94%) yang mengindikasi penurunan laju pakan di ileum dan berpotensi meningkatkan penyerapan nutrisi pakan di ileum	Stastnik et al. 2021		
Ulat sutera (<i>Bombyx mori</i>)	Burung puyuh	2,08-6,25% dalam pakan menggantikan tepung ikan	Konsumsi pakan dan <i>yolk score</i> sama dengan perlakuan tepung ikan, namun terdapat tren kenaikan dengan penambahan tepung ulat sutera (+) Menurunkan FCR (20,04-28,72%) (+) Meningkatkan produksi total produksi telur (17,58-46,58%)	Rahmasari et al. 2014		
Ulat sutera (<i>Bombyx mori</i>)	Ayam pedaging	7,8% dalam pakan menggantikan bungkil kedelai	Pengaruh terhadap konsumsi pakan sama pengaruhnya dengan 10% bungkil kedelai dalam pakan (+) Meningkatkan pertambahan bobot badan (11,15%) dan mengurangi FCR (9,14%)	Khan et al. 2018		
Ruminansia						
Larva minggu (<i>Hermetia illucens</i>)	BSF dan	1 dan 2	Potensi penggunaan pada sapi	100% dalam pengamatan	Kandungan VFA (mmol/l) sama dengan 100% bungkil kedelai (+) menurunkan produksi gas metana (ml/g BK) pada inkubasi 12 jam (52,41-60,17%), 24 jam (60,39-67,53%), dan 48 jam (66,84-73,52%)	Jayanegara et al. 2017

Serangga	Aplikasi pada ternak	Jumlah pemberian	Pengaruh	Sumber
Ruminansia				
			(-) menurunkan NH_3 (38,71-46,08%), menurunkan pencernaan BK (37,50-39,41%), dan menurunkan pencernaan BO (36,60-39,63%), meningkatkan pH (2,11-2,54%), dan menurunkan produksi gas total pada inkubasi 12 jam (40,13-50,53%), 24 jam (46,01-56,27%), dan 48 jam (50,25-61,04%)	
Maggot BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	Potensi penggunaan pada sapi	Minyak maggot BSF sebanyak 5% dalam pakan secara <i>in vitro</i>	Nilai pH, VFA, NH_3 , pencernaan BK dan BO sama dengan perlakuan tanpa penambahan minyak (+) menurunkan total gas (mL) pada inkubasi 48 jam (8,13%) dan 72 jam (8,51%), serta menurunkan produksi gas metana (15,94%)	Jayanegara et al. 2020
Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>)	Potensi penggunaan pada sapi	100% dalam pengamatan	Kandungan VFA (mmol/l) sama dengan 100% bungkil kedelai (+) meningkatkan NH_3 (38,71%) serta menurunkan produksi gas metana pada inkubasi 12 jam (75,34%), 24 jam (69,35%), dan 48 jam (67,58%) (-) menurunkan pencernaan BK (27,70%) dan pencernaan BO (24,59%), meningkatkan pH (3,80%), dan menurunkan produksi gas total pada inkubasi 12 jam (56,89%), 24 jam (55,24%), dan 48 jam (53,11%)	Jayanegara et al. 2017
Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>)	Potensi penggunaan pada sapi	Minyak jangkrik sebanyak 5% dalam pakan secara <i>in vitro</i>	Nilai pH, VFA, dan NH_3 , total gas (mL) pada inkubasi 48 dan 72 jam sama dengan perlakuan tanpa penambahan minyak (+) menurunkan produksi gas metana (25,95%) (-) menurunkan pencernaan BK (19,01%) dan pencernaan BO (19,82%)	Jayanegara et al. 2020
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Potensi penggunaan pada sapi	100% dalam pengamatan	Kandungan VFA (mmol/l) dan NH_3 (mmol/l) sama dengan 100% bungkil kedelai (+) menurunkan produksi gas metana (ml/g BK) pada inkubasi 12 jam (59,48%), 24 jam (55,06%), dan 48 jam (59,75%) dibandingkan penggunaan kedelai (-) menurunkan pencernaan BK (32,88%) dan BO (30,42%), menaikkan pH (2,11%), dan menurunkan produksi gas total pada inkubasi 12 jam (47,55%), 24 jam (46,71%), dan 48 jam (46,51%)	Jayanegara et al. 2017
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Potensi penggunaan pada sapi	Minyak ulat hongkong sebanyak 5% dalam pakan secara <i>in vitro</i>	Nilai pH, VFA, dan NH_3 , total gas (mL) pada inkubasi 48 dan 72 jam sama dengan perlakuan tanpa penambahan minyak (+) menurunkan produksi gas metana sebesar 33% (-) menurunkan pencernaan BK (13,91%) dan pencernaan BO (15,26%)	Jayanegara et al. 2020

Secara berurutan harga jual per kg maggot BSF, ulat hongkong, dan pupa ulat sutera segar mencapai Rp 30.000 (Dewi et al. 2021), Rp 100.000-170.000 (Lazuardi et al. 2020), dan Rp 20.000 (Mutiar & Asnani 2017). Sedangkan, harga jual per kg bungkil kedelai saat ini tidak lebih dari Rp 10.000 dan tepung ikan tidak lebih dari Rp 15.000,-. Kondisi ini menunjukkan bahwa penggunaan sumber protein alternatif belum ekonomis apabila dibandingkan dengan sumber protein konvensional. Namun, menurut Fauzi & Sari (2018) biaya produksi per kg maggot BSF hanya sebesar Rp 4.650. Perbedaan yang sangat tinggi antara harga jual dan harga produksi sumber protein alternatif ini dapat disebabkan karena produksi sumber protein tersebut masih dilakukan dalam skala kecil dan hanya dikhususkan untuk pakan hewan peliharaan. Oleh karena itu, peningkatan kapasitas produksi skala industri perlu dikembangkan dan perlu dilakukan perubahan orientasi pemanfaatan sumber protein-protein alternatif tersebut menjadi bahan pakan ternak produksi serta kajian ekonomisnya. Hal ini dilakukan sebagai upaya untuk mengurangi penggunaan sumber protein konvensional, yang umumnya sangat bergantung pada impor.

KESIMPULAN

Tepung serangga memiliki kandungan protein kasar yang relatif sama dan lemak kasar yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumber protein konvensional. Tepung serangga memiliki kandungan tirosin yang lebih tinggi, serta arginin, histidin, lisin, dan triptofan yang lebih rendah dibandingkan dengan bungkil kedelai dan tepung ikan. Kandungan kitin pada sumber protein alternatif menyebabkan penurunan pencernaan pakan sehingga dapat membatasi penggunaannya dalam ransum, namun berpotensi sebagai antibakteri, antifungi, dan pada ternak ruminansia berperan dalam upaya mitigasi gas metana enterik. Tepung serangga sebagai sumber protein alternatif dalam pakan ayam petelur maupun ayam pedaging berpotensi menggantikan bungkil kedelai, sedangkan dalam pakan burung puyuh berpotensi menggantikan tepung ikan. Potensi pemanfaatan BSF, jangkrik, ulat hongkong, dan ulat sutera pada ayam pedaging sebesar 8%BK menggantikan 100% bungkil kedelai, 5-15%BK menggantikan 40-100% tepung ikan, 5-29,5%BK menggantikan 3-100% bungkil kedelai, dan 7,8%BK menggantikan 100% bungkil kedelai. Potensi pemanfaatan BSF dan ulat hongkong pada ayam petelur sebesar 10-15%BK menggantikan 66-100% bungkil kedelai dan 5%BK menggantikan 21% bungkil kedelai. Potensi pemanfaatan jangkrik, ulat hongkong, dan ulat sutera pada burung puyuh sebesar 2-8%BK menggantikan 25-100% tepung ikan,

2,25%BK menggantikan 25% tepung ikan, dan 2,08-6,25%BK menggantikan 26-76% tepung ikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Allameh SK, NM Soofiani, J Pourreza. 2007. Determination of digestible and metabolizable energy of fishmeal and soybean meal in rainbow trout with two different sizes (*Oncorhynchus mykiss*). Pak J Biol Sci. 10:3277-3725.
- Barroso FG, de Haro C, Sánchez-Muros MJ, Venegas E, Martínez-Sánchez A, Pérez-Bañón C. 2013. The potential of various insect species for use as food for fish. Aquaculture. 422-423:193-201. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.12.024.
- Battampara P, Nimisha Sathish T, Reddy R, Guna V, Nagananda GS, Reddy N, Ramesha BS, Maharaddi VH, Rao AP, Ravikumar HN, et al. 2020. Properties of chitin and chitosan extracted from silkworm pupae and egg shells. Int J Biol Macromol. 161:1296-1304. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.07.161.
- Bhagat RP, Barat S. 2017. Impact of artificial feed on survival and growth of Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) during exogenous feeding in Raceways of Kathmandu, Nepal. Int J Pure Appl Biosci. 5:149-156.
- Biasato I, Gasco L, De Marco M, Renna M, Rotolo L, Dabbou S, Capucchio M, Biasibetti E, Tarantola M, Sterpone L, et al. 2018. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) inclusion in diets for male broiler chicken: effects on growth performance, gut morphology, and histological findings. Poult Sci. 97:540-548. doi: 10.3382/ps/pep308.
- Bosch G, Zhang S, Oonincx DGAB, Hendriks WH. 2014. Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. J Nutr Sci. 3:1-4. doi: 10.1017/jns.2014.23.
- Bovera F, Loponte R, Marono S, Piccolo G, Parisi G, Iaconisi V, Gasco L, Nizza A. 2016. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: Effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. J Anim Sci. 94:639-647. doi: 10.2527/jas.2015-9201.
- De Marco M, Martínez S, Hernandez F, Madrid J, Gai F, Rotolo L, Belforti M, Bergero D, Katz H, Dabbou S, et al. 2015. Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. Anim Feed Sci. 209:211-218. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006.
- Dewi IP, Taufikurohman MR, Bross N. 2021. Analisis kelayakan finansial pembuatan pakan ternak dari sampah organik dapur. J Ekon Pertan Agribisnis. 5:869-877. doi: 10.21776/ub.jepa.2021.005.03.24.

- Dong HL, Zhang SX, Tao H, Chen ZH, Li X, Qiu JF, Cui Wen Zhao, Sima YH, Cui Wei Zheng, Xu SQ. 2017. Metabolomics differences between silkworms (*Bombyx mori*) reared on fresh mulberry (*Morus*) leaves or artificial diets. *Sci Rep*. 7:1–16. doi: 10.1038/s41598-017-11592-4.
- Dong L, Ariëns RMC, America AHP, Paul A, Veldkamp T, Mes JJ, Wichers HJ, Govers C. 2021. *Clostridium perfringens* suppressing activity in black soldier fly protein preparations. *Lwt-Food Sci Technol*. 149:111806. doi: 10.1016/j.lwt.2021.111806.
- Estetika Y, Endrawati YC. 2018. Produktivitas ulat sutera (*Bombyx mori* L.) ras BS-09 di daerah tropis. *J Ilmu Produksi dan Teknol Has Peternak*. 6:104–112. doi: 10.29244/jipthp.6.3.104-112.
- Ewald N, Vidakovic A, Langeland M, Kiessling A, Sampels S, Lalander C. 2020. Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – Possibilities and limitations for modification through diet. *Waste Manag*. 102:40–47. doi: 10.1016/j.wasman.2019.10.014.
- Fauzi RUA, Sari ERN. 2018. Analisis usaha budidaya maggot sebagai alternatif pakan lele. *J Teknologi Manajemen Agroindustri*. 7:39–46.
- Finke MD. 2015. Complete nutrient content of four species of commercially available feeder insects fed enhanced diets during growth. *Zoo Bio*. 34:554–564.
- Fuah AM, Siregar HCH, Endrawati YC. 2015. Cricket farming for animal protein as profitable business for small farmers in Indonesia. *J Agric Sci Technol A*. 5:296–304. doi: 10.17265/2161-6256/2015.04.008.
- Grapes M, Whiting P, Dinan L. 1989. Fatty acid and lipid analysis of the house cricket, *Acheta domestica*. *Insect Biochem*. 19:767–774.
- Hidayat C. 2018. Pemanfaatan insekta sebagai bahan pakan dalam ransum ayam pedaging. *Wartazoa*. 28:161-174. doi: 10.14334/wartazoa.v28i4.1875.
- Hussain I, Khan S, Sultan A. 2017. Meal worm (*Tenebrio molitor*) as potential alternative source of protein supplementation in broiler. *Int J Biosci*. 10:255–262. doi: 10.12692/ijb/10.4.255-262.
- Ibáñez MA, de Blas C, Camara L, Mateos GG. 2020. Chemical composition, protein quality and nutritive value of commercial soybean meals produced from beans from different countries: A meta-analytical study. *Anim Feed Sci Tech*. 267:114531. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114531.
- Jayanegara A, Gustanti R, Ridwan R, Widyastuti Y. 2020. Fatty acid profiles of some insect oils and their effects on *in vitro* bovine rumen fermentation and methanogenesis. *Ital J Anim Sci*. 19:1311–1318. doi: 10.1080/1828051X.2020.1841571.
- Jayanegara A, Yantina N, Novandri B, Laconi EB, Nahrowi, Ridla M. 2017. Evaluation of some insects as potential feed ingredients for ruminants: Chemical composition, *in vitro* rumen fermentation and methane emissions. *J Indones Trop Anim Agric*. 42:247–254. doi: 10.14710/jitaa.42.4.247-254.
- Jiménez-Ocampo R, Montoya-Flores MD, Herrera-Torres E, Pámanes-Carrasco G, Arceo-Castillo JJ, Valencia-Salazar SS, Arango J, Aguilar-Pérez CF, Ramírez-Avilés L, Solorio-Sánchez FJ. 2021. Effect of chitosan and naringin on enteric methane emissions in crossbred heifers fed tropical grass. *Animals*. 11:1599.
- Joseph I, Paul Raj R, Bhatnagar D. 2008. Effect of solidstate fermentation on nutrient composition of selected feed ingredients. *Indian J Fish*. 55:327-332.
- Khan S, Khan RU, Alam W, Sultan A. 2018. Evaluating the nutritive profile of three insect meals and their effects to replace soya bean in broiler diet. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 102:e662–e668. doi: 10.1111/jpn.12809.
- Khusro M, Andrew NR, Nicholas A. 2012. Insects as poultry feed: A scoping study for poultry production systems in Australia. *Worlds Poult Sci J*. 68:435–446. doi: 10.1017/S0043933912000554.
- Kim SY, Weaver CM, MK Choi. 2017. Proximate composition and mineral content of five edible insect consumed in Korea. *J Food*. 15:143-146. doi: 10.1080/19476337.2016.1223172.
- Lawal KG, Kavle RR, Akanbi TO, Miroso M, Agyei D. 2021. Enrichment in specific fatty acids profile of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* larvae through feeding. *Futur Foods*. 3:100016. doi: 10.1016/j.fufo.2021.100016.
- Lazuardi R, Baihaqi A, Fauzi T. 2020. Analisis kelayakan usaha budidaya ulat hongkong (*Tenebrio molitor*) (Studi kasus usaha budidaya ulat hongkong di Kecamatan Indrapuri Kabupaten Aceh Besar). *J Ilm Mhs Pertan*. 5:108–120.
- Longvah T, Mangthya K, Ramulu P. 2011. Nutrient composition and protein quality evaluation of eri silkworm (*Samia ricinii*) prepupae and pupae. *Food Chem*. 128:400–403. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.03.041.
- Lu Z, Xu Z, Shen Z, Tian Y, Shen H. 2019. Dietary energy level promotes rumen microbial protein synthesis by improving the energy productivity of the ruminal microbiome. *Front Microbiol*. 10:847.
- Makkar HPS, Tran G, Heuzé V, Ankers P. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim Feed Sci Technol*. 197:1–33. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008.
- Matin N, Utterback P, Parsons CM. 2021. True metabolizable energy and amino acid digestibility in black soldier fly larvae meals, cricket meal, and mealworms using a precision-fed rooster assay. *Poult Sci*. 100:101146. doi: 10.1016/j.psj.2021.101146.
- Mlček J, Adámková A, Adámek M, Borkovcová M, Bednářová M, Kouřimská L. 2018. Selected nutritional values of field cricket (*Gryllus assimilis*)

- and its possible use as a human food. *Indian J Tradit Knowl*. 17:518–524.
- Moula N, Detilleux J. 2019. A meta-analysis of the effects of insects in feed on poultry growth performances. *Animals*. 9:1–13. doi: 10.3390/ani9050201.
- Mutiara F, Asnani DNH. 2017. Strategi pengembangan agribisnis ulat sutera pemakan daun singkong di Kabupaten Malang. *J Ilmu-Ilmu Peternak*. 27:24–38. doi: 10.21776/ub.jiip.2017.027.03.04.
- Mwaniki Z, Shoveller AK, Huber LA, Kiarie EG. 2020. Complete replacement of soybean meal with defatted black soldier fly larvae meal in Shaver White hens feeding program (28–43 wks of age): impact on egg production, egg quality, organ weight, and apparent retention of components. *Poult Sci*. 99:959–965. doi: 10.1016/j.psj.2019.10.032.
- [NRC] National Research Council. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. 7th revised ed. Washington (US): National Academy Press.
- Panjaitan I, Sofiana A, Priabudiman Y. 2012. Suplementasi tepung jangkrik sebagai sumber protein pengaruhnya terhadap kinerja burung puyuh (*Coturnix coturnix japonica*). *J Ilm Ilmu-ilmu Peternak Univ Jambi*. XV:8–14. doi: 10.22437/jiip.v15i1.1513.
- Paul A, Frederich M, Megido RC, Alabi T, Malik P, Uyttenbroeck R, Francis F, Blecker C, Haubruge E, Lognay G, et al. 2017. Insect fatty acids: A comparison of lipids from three Orthopterans and *Tenebrio molitor* L. larvae. *J Asia Pac Entomol*. 20:337–340. doi: 10.1016/j.aspen.2017.02.001.
- Paulino AT, Simionato JI, Garcia JC, Nozaki J. 2006. Characterization of chitosan and chitin produced from silkworm crysalides. *Carbohydr Polym*. 64:98–103. doi: 10.1016/j.carbpol.2005.10.032.
- Permatahati D, Mutia R, Astuti DA. 2019. Effect of cricket meal (*Gryllus bimaculatus*) on production and physical quality of Japanese quail egg. *Trop Anim Sci J*. 42:53–58. doi: 10.5398/tasj.2019.42.1.53.
- Rahmasari R, Sumiati S, Astuti DA. 2014. The effect of silkworm pupae (*Bombyx mori*) meal to substitute fish meal on production and physical quality of quail eggs (*Coturnix coturnix japonica*). *J Indones Trop Anim Agric*. 39:180–187. doi: 10.14710/jitaa.39.3.180-187.
- Ruth L, Ghatak S, Subbarayan S, Choudhury BN, Gurusubramanian G, Kumar NS, Bin T. 2019. Influence of micronutrients on the food consumption rate and silk production of *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae) reared on mulberry plants grown in a mountainous agro-ecological condition. *Front Physiol*. 10:1–11. doi: 10.3389/fphys.2019.00878.
- Sánchez-Muros MJ, Barroso FG, Manzano-Agugliaro F. 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: A review. *J Clean Prod*. 65:16–27. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.11.068.
- Shanker KS, Shireesha K, Kanjilal S, Kumar SVLN, Srinivas C, Rao JVK, Prasad RBN. 2006. Isolation and characterization of neutral lipids of desilked eri silkworm pupae grown on castor and tapioca leaves. *J Agric Food Chem*. 54:3305–3309. doi: 10.1021/jf060581x.
- Siemianowska E, Kosewska A, Aljewicz M, Skibniewska KA, Polak-Juszczak L, Jarocki A, Jędras M. 2013. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agric Sci*. 04:287–291. doi: 10.4236/as.2013.46041.
- Soetemans L, Uyttebroek M, Bastiaens L. 2020. Characteristics of chitin extracted from black soldier fly in different life stages. *Int J Biol Macromol*. 165:3206–3214. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.11.041.
- Song YS, Kim MW, Moon C, Seo DJ, Han YS, Jo YH, Noh MY, Park YK, Kim SA, Kim YW, et al. 2018. Extraction of chitin and chitosan from larval exuvium and whole body of edible mealworm, *Tenebrio molitor*. *Entomol Res*. 48:227–233. doi: 10.1111/1748-5967.12304.
- Stastnik O, Novotny J, Roztocilova A, Kouril P, Kumbar V, Cernik J, Kalhotka L, Pavlata L, Lacina L, Mrkvicova E. 2021. Safety of mealworm meal in layer diets and their influence on gut morphology. *Animals*. 11. doi: 10.3390/ani11051439.
- Stull VJ, Kersten M, Bergmans RS, Patz JA, Paskewitz S. 2019. Crude protein, amino acid, and iron content of *Tenebrio molitor* (Coleoptera, Tenebrionidae) reared on an agricultural byproduct from maize production: An exploratory study. *Ann Entomol Soc Am*. 112:533–543. doi: 10.1093/aesa/saz024.
- Taufek NM, Muin H, Raji AA, Razak SA, Yusof HM, Alias Z. 2016. Apparent digestibility coefficients and amino acid availability of cricket meal, *Gryllus bimaculatus*, and Fishmeal in African Catfish, *Clarias gariepinus*, Diet. *J World Aquac Soc*. 47:798–805. doi: 10.1111/jwas.12302.
- Tazikeh T, Abedian Kenari A, Esmaceli M. 2019. Effects of fish meal replacement by meat and bone meal supplemented with garlic (*Allium sativum*) powder on biological indices, feeding, muscle composition, fatty acid and amino acid profiles of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquac Res*. 51:674–686. doi: 10.1111/are.14416.
- Tomotake H, Katagiri M, Yamato M. 2010. Silkworm pupae (*Bombyx mori*) are new sources of high quality protein and lipid. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*. 56:446–448. doi: 10.3177/jnsv.56.446.
- Traksele L, Speiciene V, Smicius R, Alencikiene G, Salaseviciene A, Garmiene G, Zigmantaite V, Grigaleviciute R, Kucinskas A. 2021. Investigation of *in vitro* and *in vivo* digestibility of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae protein. *J Funct Foods*. 79:104402. doi: 10.1016/j.jff.2021.104402.

- van Huis A, Dicke M, van Loon JJA. 2015. Insects to feed the world. *J Insects Food Feed.* 1:3–5. doi: 10.3920/JIFF2015.x002.
- 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-Australasian J Anim Sci.* 18:667–670. doi: 10.5713/ajas.2005.667.
- Wardhana A. 2016. Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as an plternative protein source for animal feed. *Wartazoa* 26:069–078. doi: 10.14334/wartazoa.v26i2.1218.
- Yoo JS, Cho KH, Hong JS, Jang HS, Chung YH, Kwon GT, Shin DG, Kim YY. 2019. Nutrient ileal digestibility evaluation of dried mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae compared to three animal protein by-products in growing pigs. *Asian-Australasian J Anim Sci.* 32:387–394. doi: 10.5713/ajas.18.0647.
- Zadeh ZS, Kheiri F, Faghani M. 2020. Productive performance, egg-related indices, blood profiles, and interferon- γ gene expression of laying Japanese quails fed on *Tenebrio molitor* larva meal as a replacement for fish meal. *Ital J Anim Sci.* 19:274–281. doi: 10.1080/1828051X.2020.1722970.