

Manfaat Serangga sebagai Pakan Ternak Ruminansia dan Pengaruhnya terhadap Lingkungan: Ulasan

Benefits of Insects as Feed for Ruminant Livestock and Their Impact on the Environment: A Review

Yanuartono, Indarjulianto Soedarmanto & Alsi Dara Paryuni*

Departemen Ilmu Penyakit Dalam, Fakultas Kedokteran Hewan Universitas Gadjah Mada.
Jl. Fauna No.2, Karangmalang, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55281, Indonesia

*Corresponding email: alsidara94@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Sejarah menunjukkan bahwa serangga telah dikenal dan dimanfaatkan sebagai sumber pangan bagi manusia di berbagai benua seperti Asia, Amerika Selatan, Afrika dan Eropa. Sekitar 2000 spesies serangga telah dikonsumsi manusia dari berbagai 113 negara di dunia. Perkembangan pesat populasi hewan ternak telah meningkatkan permintaan terhadap protein hewan, yang mendorong para ilmuwan dan industri peternakan untuk mencari sumber protein baru. Sumber protein konvensional, seperti ikan dan produk samping biji-bijian seperti bungkil kelapa dan bungkil kedelai, semakin mahal, sehingga biaya produksi. Berbagai penelitian menghasilkan temuan beberapa jenis larva serangga atau serangga siput, cacing dan manure yang memiliki potensi sebagai sumber protein. Sumber protein alternatif tersebut dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak unggas, ruminansia, ikan, babi, dan hewan kesayangan. Namun demikian, masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui dampak positif dan negatif yang dihasilkan dari penggunaan serangga sebagai bahan pakan. Ulasan singkat ini ditujukan untuk mengulas serangga sebagai alternatif pakan ternak dan aspek keamanan lingkungan dalam industri ternak.

Kata Kunci: *Larva, Serangga, Protein, Pakan Ternak*

ABSTRACT

History shows that insects have been known and used as a food source for humans in various continents, such as Asia, South America, Africa, and Europe. Around 2000 species of insects have become human consumption around 113 countries in the world. However, the rapid development of the livestock population has increased the demand for livestock protein and forced scientists and the livestock industry to look for new protein sources. Conventional protein sources such as fish and grain by-products such as coconut and soybean meal are increasingly expensive, increasing production costs. Various studies have resulted in discovering several types of insect larvae or slugs, worms, and manure which have potential as protein sources. These alternative protein sources can be used as animal feed for poultry, fish, pigs, pets, and ruminants. However, further research is still needed to determine the negative or positive impacts arising from the use of these insects. This brief review is intended to review insects as an alternative animal feed and environmental safety in the livestock industry.

Keywords: *Larvae, Insect, Proteins, Animal Feed*

PENDAHULUAN

Jumlah konsumen yang mengonsumsi protein hewani untuk memenuhi kebutuhan makanan manusia maupun pakan hewan tumbuh secara eksponensial karena pertumbuhan populasi yang tidak terkontrol (Dar dan Gowda, 2013; Capper, 2013). Sampai saat ini, sumber utama pakan konvensional untuk ternak ruminansia, unggas, babi, ikan dan hewan kesayangan di hampir semua negara adalah ikan dan berbagai produk samping bijian seperti, bungkil kelapa dan bungkil kedelai. Dengan semakin banyaknya industri peternakan maka secara langsung akan menghadapi tantangan untuk mencari alternatif bahan pakan terutama sumber protein yang harganya terjangkau untuk menekan ongkos produksi (Altmann et al., 2022). Berbagai macam sumber telah dicoba untuk menggantikan sumber protein yang relatif mahal seperti *manure*, serangga, maggot, siput dan cacing (Ogunji et al., 2006; Washaya et al., 2018; Gałęcki et al., 2021; Baghele et al., 2022). Namun demikian, saat ini salah satu pilihan yang banyak diteliti untuk digunakan sebagai sumber protein adalah serangga dalam berbagai macam bentuk siklus hidupnya.

Serangga sebagai bahan pakan ternak telah diperkenalkan oleh Linder pada tahun 1919, yang kemudian diikuti oleh banyak penelitian pada tahun tahun selanjutnya (Ooninx dan Finke, 2021). Bahkan catatan sejarah juga menunjukkan bahwa serangga telah dikenal dan dimanfaatkan sebagai sumber pangan untuk manusia di berbagai benua seperti Asia, Amerika Selatan, Afrika dan Eropa (Yen, 2009; Rumpold dan Schlüter, 2015; Raheem et al., 2018; Hermans et al., 2021; Pruitt et al., 2022). Lebih lanjut, menurut Yen (2009), sekitar 2000 spesies serangga telah menjadi

konsumsi manusia sekitar 113 negara di dunia. Menurut Jongema (2017), saat ini sudah lebih dari 2.111 *arthropoda* yang terdokumentasi dapat dikonsumsi di seluruh dunia. Serangga mendapat perhatian sebagai pakan ternak karena secara efisien mampu mengubah nilai nutrisi substrat dengan volume rendah menjadi biomassa yang kaya nutrisi (Wang dan Shelomi, 2017) dan produksinya dianggap lebih kecil pengaruhnya terhadap kerusakan lingkungan jika dibandingkan dengan pakan konvensional. Saat ini beberapa jenis larva dan serangga telah diteliti sebagai sumber protein alternatif bagi pakan ternak (Sogari et al., 2019). Berbagai penelitian menghasilkan temuan beberapa jenis larva atau serangga yang memiliki potensi sebagai sumber protein. Potensi alternatif yang menjanjikan sebagai komponen pakan terkait dengan pendeknya siklus hidup dan lebih mudah dipelihara dalam skala besar serta harga yang lebih rendah jika dibandingkan dengan sumber lain sebagai pakan ternak (Makkar et al. 2014; Makinde, 2015). Banyak penelitian yang telah memanfaatkan serangga dan larva menjadi salah satu bahan makanan manusia dan bahan pokok pakan ternak, ikan, unggas, dan hewan lainnya sebagai bagian dari sumber protein dan lemak (DeFoliart, 1992; Belforti et al., 2015; Bovera et al., 2015; Shah et al., 2022; Van Huis, 2023).

Larva lalat dan serangga yang telah banyak diteliti dan dimanfaatkan sebagai sumber protein ternak antara lain adalah *Beetle larvae* (*Holotrichia parallela*) (Yang et al., 2014), *Blue bottles* (*Calliphora vomitoria*) (Charlton et al., 2015), larva *Musca domestica* (Saleh, 2020), larva *Black warriors* (*Hermetia illucens*) (Lu et al., 2022), *Japanese rhinoceros beetle* (*Allomyrina dichotoma*) (Ghosh et al., 2017), larva *Coconut rhinoceros beetle* (*Oryctes rhinoceros*)

(Okaraonye dan Ikewuchi, 2009). Sedangkan serangga yang memiliki prospek sebagai sumber protein ternak antara lain adalah *Periplaneta americana* (Boate and Suotonye, 2020), *Blattella asahinai* (Józefiak et al., 2016), dan *Blattella germanica* (Ngaira et al., 2022). Dari berbagai macam alternatif sumber protein tersebut, tulisan singkat ini ditujukan untuk mengulas serangga maupun larva serangga sebagai pakan ternak dan aspek keamanan lingkungan dalam industri ternak.

PEMBAHASAN

Komposisi Nutrisi Serangga

Komposisi nutrisi serangga sebagai pakan yang kaya nutrisi dibutuhkan oleh semua hewan, seperti energi, protein, lemak, vitamin, dan mineral (Zhou et al., 2022; Shah et al., 2022). Komposisi kimia dan nilai nutrisi serangga dipengaruhi oleh genetika, habitat, substrat, tahap pertumbuhan, umur, cara pengolahan dan pengawetan (Ramos-Elorduy, 2009; Schluter et al., 2017; Köhler et al., 2019; Meyer-Rochow et al., 2021; Riekkinen et al., 2022; Tanga et al., 2023). Sebagian besar serangga memiliki kandungan protein kasar dengan kisaran 30-65% BK dan 77-98% dapat dicerna (Ngaira et al., 2022; Rodríguez-Rodríguez et al., 2022). Namun demikian ada pendapat lain yang menyatakan bahwa kandungan protein serangga berada dalam kisaran 25-75% (Barker et al., 1998; Oonincx and Van der Poel, 2011). Serangga juga mengandung lemak dengan kisaran antara dari 7 hingga 77% BK (Kouřimská and Adámková, 2016; Zhou et al., 2022). Hasil beberapa penelitian yang lain menunjukkan kandungan

lemak dengan kisaran yang berbeda, yaitu antara 10-70% (Finke, 2013). Secara umum kandungan karbohidrat memiliki kisaran dalam jumlah yang kecil 1,2 – 12,4% (Pennino et al., 1991; Yang et al., 2014; Hlongwane et al., 2020). Sebagian besar serangga memiliki kandungan karbohidrat yang bervariasi meskipun dianggap cukup rendah jika dibandingkan dengan kandungan protein dan lemak. Pada serangga, karbohidrat direpresentasikan terutama oleh kitin dan glikogen yang memiliki kandungan berkisar antara 2,7-49,8% (Bukkens 1997; Burton and Zacccone, 2007). Kandungan karbohidrat rata-rata serangga yang dapat dimakan berkisar antara 6,71-15,98% (Mlcek et al., 2014; Ojha et al., 2021). Hasil penelitian diatas menunjukkan bahwa kandungan protein, lemak dan karbohidrat sangatlah bervariasi antar serangga. Kandungan protein, lemak dan karbohidrat berbagai serangga disajikan pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan nilai nutrisi berbagai spesies serangga yang dapat dikonsumsi baik oleh manusia maupun ternak. Kandungan nutrisi sangat bervariasi dengan kisaran protein 40,1-70,27%, lemak 0,66-35,3% dan karbohidrat 1,6-33,3%. Menurut Orkus (2021), serangga tersebut mengandung nutrisi energi, protein, lemak, asam lemak tak jenuh ganda, kolesterol dan mikro mineral yang lebih tinggi dan lebih bervariasi jika dibandingkan dengan sumber pakan lain seperti misalnya daging. Variasi tersebut kemungkinan tergantung pada tahap metamorfosis, lingkungan pertumbuhan atau habitat dan diet bahkan dalam kategori spesies yang sama (Babiker et al., 2007; Rumpold and Schlüter, 2013; Tuhumury, 2021). Meskipun sangat bervariasi, kandungan nutrisi tersebut

sangatlah menjanjikan jika digunakan sebagai sumber protein alternatif untuk menggantikan sumber protein konvensional yang semakin mahal dan semakin sulit diperoleh. Dipandang dari sisi nutrisi, serangga yang dapat dimanfaatkan tidak kalah dengan sumber

konvensional atau bahkan lebih baik, seperti misalnya, *Caterpillar* memiliki kandungan protein 28% dibandingkan dengan 21% pada daging ayam (Numbi Muya et al., 2022; Tanga et al., 2023).

Tabel 1. Kandungan protein, lemak dan karbohidrat berbagai serangga

Serangga	Protein (g/100g)	Lemak (g/100g)	Karbohidrat (g/100g)	Pustaka
<i>Corn earworm (Heliothis zea)</i>	42,30	29,80	-	Ramos-Elorduy et al., 1997
<i>Greater wax moth (Galleria mellonella)</i>	14,1	24,9	3,4	Finke, 2002
<i>Pupa Tussah silkworm (Antheraea pernyi)</i>	71,9	20,1	-	Zhou and Han, 2006
<i>Larva coconut rhinoceros beetle (Oryctes rhinoceros)</i>	42,29	0,66	33,3	Okaraonye and Ikewuchi, 2009
<i>Larva beetle larvae (Holotrichia parallela)</i>	70,27	16,26	6,04	Hu et al., 2010
<i>African Palm Weevil (Rhynchophorus phoenicis)</i>	21,06	66,61	7,63	Womeni et al., 2012
<i>Worker honey bee (Apis mellifera ligustica)</i>	Larva: 35,3 Pupa :45,9 Dewasa:51,0	Larva: 14,5 Pupa :16,0 Dewasa:6,9	Larva: 46,1 Pupa :34,3 Dewasa:30,6	Ghosh et al., 2016
<i>Larva Japanese rhinoceros beetle (Allomyrina dichotoma)</i>	54,18	20,24	-	Ghosh et al., 2017
<i>Larva lalat rumah (Musca domestica)</i>	60	20	33,45	Hussein et al., 2017
<i>House Cricket (Acheta domesticus)</i>	60-70	10-23	1,6	Udomsil et al., 2019
<i>Blue bottles (Calliphora vomitoria)</i>	64,90	0,67	12,23	Bbosa et al., 2019
<i>Larva green bottle fly (Lucilia spp.)</i>	62,0	10,0	-	Zhuravlev et al., 2020
<i>Larva yellow mealworm (Tenebrio molitor)</i>	63,3 ± 1,8	19,3 ± 1,4	-	Rumbos et al., 2020
<i>Fruit fly (Drosophila melanogaster)</i>	40,11 - 53,73%	27,03- 30,10%	-	Yuan et al., 2022
<i>Nimpha German cockroaches (Blattella germanica)</i>	58,28±0,01	15,03±0,25	-	Ngaira et al., 2022
<i>Larva black warriors (Hermetia illucens)</i>	41,47	35,3	-	Lu et al., 2022
<i>Pupa silkworm (Bombyx mori)</i>	48-60	30	-	Herman et al., 2022; Hăbeanu et al., 2023

Hasil penelitian Rumbos et al. (2020) dan Kröncke and Benning (2023) menunjukkan bahwa substrat yang digunakan sebagai pakan larva *Yellow mealworm* (*Tenebrio molitor*) memiliki pengaruh yang besar terhadap kandungan protein dan lemak yang dihasilkan. Hasil tersebut didukung oleh penelitian Scala et al. (2020) menyatakan bahwa substrat dengan kualitas yang baik akan berdampak positif pada pertumbuhan dan komposisi makro-nutrien larva *Black warriors* (*Hermetia illucens*) dalam skala industri. Liu et al. (2017) menyatakan bahwa *Black Soldier Fly* memiliki komposisi nutrisi yang bervariasi pada berbagai tahap siklus hidup, dan kandungan protein kasar tertinggi ditemukan pada stadium dewasa sedangkan kandungan lemak kasar pada larva umur 14 hari. Kandungan lemak tak jenuh akan mengalami penurunan mulai pada umur tujuh hari. Nilai nutrisi *House Cricket* (*Acheta domesticus*) juga dapat dimodifikasi melalui formulasi substrat, kandungan protein tinggi dari modifikasi substrat tidak hanya dapat meningkatkan kandungan protein *cricket*, akan tetapi juga kandungan natrium, kalsium, fosfor, dan kalium (Bawa et al., 2020).

Hasil penelitian terhadap stadium perkembangan insekta atau tahap metamorfosa juga berpengaruh terhadap kandungan nilai nutrisi (Kouřimská and Adámková, 2016). Morales-Ramos et al. (2016) menyatakan bahwa terdapat perbedaan nilai nutrisi antara pupa dan larva dari *yellow mealworm* (*Tenebrio molitor*). Kandungan protein total lebih tinggi pada pupa (60,2%) jika dibandingkan dengan larva (53%) dan sebaliknya, kandungan lipid lebih rendah pada pupa (32,1%) jika dibandingkan dengan larva

(35,9%). Hasil penelitian Kroeckel et al. (2012) pada *Black soldier fly* (*Hermetia illucens*) menunjukkan bahwa kandungan serat kasar pra-pupa lebih tinggi dibandingkan kandungan serat kasar larva kemungkinan karena exoskeleton dari pra-pupa lebih berkembang dan mengandung sejumlah kitin yang berada dalam bentuk serat.

Kandungan nutrisi yang bervariasi seperti terlihat pada Tabel 1 juga dipengaruhi oleh proses pengolahan serangga. Meskipun data hasil penelitian tentang dampak dari berbagai metode pengolahan terhadap kandungan dan ketersediaan unsur hara serangga masih terbatas, namun kemungkinan besar hasilnya akan mirip dengan bahan pakan yang lain (Ssepuuya et al., 2017). Nilai nutrisi akan berubah sesuai dengan metode proses pengolahan sebelum dikonsumsi, seperti pengeringan, pemasakan, penggorengan (van Huis et al., 2013; Mutungi et al., 2017). Proses pengolahan serangga juga bertujuan untuk meningkatkan kualitas nutrisi, keamanan pakan, rasa, dan pengawetan (Wendin et al., 2020; Liceaga, 2021; Krongdang et al., 2023), tetapi ada kemungkinan juga dapat menyebabkan pembentukan komponen anti-nutrisi atau bahkan beracun (Friedman, 1996). Meskipun penelitian Manditsera et al. (2019) menunjukkan hasil sebaliknya karena serangga yang direbus atau di goreng akan mengalami penurunan kandungan protein sekitar 25% dibandingkan dengan serangga utuh tanpa proses pemasakan. Meskipun demikian, secara umum proses pengolahan memiliki manfaat yang lebih banyak jika dibandingkan dengan kondisi mentah.

Habitat atau lingkungan pertumbuhan juga berpengaruh terhadap komposisi nilai

nutrisi serangga (Schluter et al., 2017; Ojha et al., 2021). Penelitian pada serangga liar menunjukkan bahwa terdapat perbedaan komposisi nilai nutrisi yang dipengaruhi variasi musim, variasi antara populasi yang berbeda tetapi dari spesies yang sama dan di habitat yang sama (Finke, 2004). Payne et al. (2016) dan Sun-Waterhouse et al. (2016) menyatakan bahwa sampai saat ini masih diperlukan studi lebih lanjut tentang komposisi kimia serangga yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan dalam kaitannya dengan faktor-faktor seperti geografi dan iklim guna memfasilitasi identifikasi spesies yang paling cocok untuk persiapan pemeliharaan massal.

Selain memiliki kandungan protein, lemak dan karbohidrat yang tinggi, larva serangga juga mengandung vitamin dan mineral yang tinggi. Menurut Kinyuru et al. (2015), Schmidt et al. (2019) dan Shumo et al. (2019), serangga mengandung vitamin A, vitamin D2, vitamin D3, vitamin C, vitamin E, vitamin K, thiamin, riboflavin, asam pantotenat, niasin, piridoksin, asam folat, D-biotin, dan vitamin B12. Kandungan mineral yang terdapat dalam serangga antara lain adalah Fe, Zn, C, Cu, P, Mg dan Mn (Omotoso and Adedire, 2007; Hyun et al., 2012; de Castro et al., 2018). Meskipun data penelitian terbatas, namun semua serangga mengandung Zn, Ca dan vitamin A yang cukup tinggi. Kandungan Zn pada *cricket* berkisar antara 8-25 mg/100 g BK (Coppoolse et al., 2023). Kandungan vitamin A berkisar antara 3 hingga 273 µg/100 g BK dan kalsium kisaran 33-341 mg/100 g BK pada berbagai spesies serangga (Christensen 2006; Dobermann et al., 2017). Melihat tingginya kandungan vitamin maupun mineral dari serangga maka serangga memiliki

prospek yang sangat bagus untuk menggantikan sumber sumber pakan konvensional yang saat ini semakin sulit diperoleh dan harganya semakin mahal. Meskipun demikian dari sejumlah insekta yang dapat dimanfaatkan sebagai makanan ternak maupun pakan ternak mestinya akan ada perbedaan satu dengan yang lain sebagai pilihan yang optimal untuk setiap jenis ternak yang mengkonsumsinya. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam untuk memaksimalkan potensi jenis serangga yang telah dimanfaatkan sebagai bahan pakan.

Serangga sebagai Sumber Protein Ruminansia

Sebagai bahan pakan hewan, saat ini serangga telah umum digunakan sebagai pakan untuk hewan produksi seperti ikan (Sogari et al., 2019; Alfiko et al., 2022), ayam (Elahi et al. 2022; Koutsos et al., 2023), kelinci (Gasco et al., 2019; Radwan et al., 2023), babi (DiGiacomo and Leury, 2019; Hong and Kim, 2022) dan hewan kesayangan (Ahmed et al., 2021; Bosch and Swanson, 2021; Valdés et al., 2022). Namun demikian, menurut Domingues et al. (2020) konsumsinya sebagai sumber nutrisi alternatif untuk ternak ruminansia belum begitu meluas. Hal tersebut disebabkan karena ruminansia mampu mengubah protein yang tidak dapat dimakan oleh monogastrik seperti hijauan menjadi protein (Rouillé et al. 2023). Jayanegara et al. (2020) menambahkan bahwa penelitian tentang penggunaan serangga untuk pakan ternak ruminansia masih dalam tahap awal terbukti dengan hanya sedikit artikel yang telah dipublikasikan hingga saat ini dan penelitian lebih difokuskan pada penilaian parameter fermentasi *in vitro*.

Kondisi lingkungan global saat ini menunjukkan semakin kompleksnya industri peternakan ruminansia, sehingga penggunaan serangga dalam ransum sebatas yang diijinkan oleh peraturan kesehatan menjadi sebuah solusi yang masuk akal dan masih memiliki peluang besar untuk dikembangkan (Castillo and Hernández, 2023). Namun, peraturan perundangan yang mengatur penggunaan serangga dalam produksi ternak tidak dapat dilakukan secara konsisten di antara negara-negara di seluruh dunia. Negara tropis seperti di benua Asia dan Afrika tidak memberlakukan pembatasan penggunaan serangga dalam nutrisi monogastrik maupun ruminansia karena memiliki sejarah yang sangat panjang dimana serangga merupakan bahan pangan maupun pakan yang sangat umum dikonsumsi (Bodenheimer, 1951; DeFoliart, 2012; Jayanegara *et al.*, 2020).

Toral *et al.* (2022) telah melakukan penelitian untuk membandingkan tepung kedelai dengan serangga *A. domesticus*, *A. diaperinus*, *T. molitor* and *Z. morio* sebagai sumber protein untuk ruminansia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *T. molitor* menunjukkan nilai terendah dari degradasi N rumen dan terbesar pada pencernaan usus, sehingga menjadi pilihan terbaik untuk menggantikan bungkil kedelai dan dapat dimanfaatkan sebagai pakan ruminansia. Evaluasi hasil penelitian mengungkapkan bahwa serangga kaya akan lemak dan protein dengan profil asam amino esensial yang hampir sama dengan yang ditemukan pada bungkil kedelai. Penggantian 25% bungkil kedelai dengan empat jenis serangga dalam ransum ruminansia tidak mempengaruhi profil fermentasi atau pencernaan nutrisi sehingga

mampu menghemat biaya tanpa berpengaruh pada penampilan ternak. Lebih lanjut, penambahan *Gryllus bimaculatus* dan *Bombyx mori* dalam pakan menunjukkan potensi untuk mengurangi produksi CH₄ masing-masing hingga 18,4% dan 16,3% (Ahmed *et al.*, 2021). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa serangga yang digunakan sebagai pakan ternak ruminansia mampu menurunkan produksi metana sehingga diharapkan dapat mengurangi dampak pemanasan global (Martin *et al.*, 2010; Jayanegara *et al.*, 2017; Castillo and Hernández, 2023).

Meskipun telah ada berbagai hasil penelitian yang menjanjikan potensi penggunaan serangga sebagai sumber protein dan lemak untuk menggantikan bahan pakan nabati pada ruminansia namun masih sangat terbatas dan bersifat bias (Rashmi *et al.*, 2018; DiGiacomo and Leury, 2019; Ahmed and Nishida 2023). Kelebihan serangga selain tingginya kandungan protein dan lemak adalah kaya akan kitin yang kaya serat sehingga mampu mendorong pertumbuhan kelompok bakteri tertentu dalam rumen dan berdampak menguntungkan pada kesehatan usus dan sistem kekebalan tubuh (Gasco *et al.*, 2020). Beberapa penelitian *in vitro* menunjukkan bahwa daya cerna ruminansia terhadap serangga relatif rendah sehingga penggunaannya sebaiknya dibatasi. Menurut Toral *et al.* (2022), penggunaan serangga tampaknya menjanjikan, namun sampai saat ini tingkat degradasi protein serangga dalam rumen sebagian besar masih belum sepenuhnya diketahui. Cherdthong and Wanapat (2013) menyatakan bahwa pH rumen adalah salah satu indikator yang membantu mengatur ekologi rumen dan mengontrol

aktivitas mikroba rumen. Hasil penelitian Khonkhaeng et al. (2022) menunjukkan bahwa *G. bimaculatus* yang ditambahkan pada leguminosa *Sesbania grandiflora* akan menjadikan pH rumen menjadi stabil pada kisaran 6,76-7,01. Kisaran pH 6,76-7,01 merupakan pH optimal bagi bakteri dalam rumen untuk mendegradasi pakan (Nagaraja and Titgemeyer, 2007; Wachirapakorn et al., 2016).

Berbagai hasil penelitian lain menunjukkan bahwa protein serangga mampu menggantikan protein nabati sebagai sumber protein ruminansia. Narang and Lal (1985) menyatakan adanya peningkatan *average daily gain* (ADG) pedet Jersey saat 30% kandungan bungkil kacang tanah sebagai sumber protein dalam *milk replacer* digantikan dengan kepompong silkworm (*Bombyx mori*). Hasil penelitian Drewery et al. (2014) dan Fukuda et al. (2022) menunjukkan bahwa pemberian tepung larva Black soldier fly (*Hermetia illucens*) dapat meningkatkan kualitas ternak ruminansia yang diberi pakan basal hijauan berkualitas rendah tanpa mempengaruhi pencernaan atau fermentasi rumen. Hasil evaluasi tepung *G. bimaculatus* dan *B. mori* sebagai pakan alternatif sebanyak 20% untuk menggantikan campuran konsentrat komersial dalam ransum ruminansia terhadap karakteristik fermentasi rumen dan produksi gas tidak menunjukkan dampak negatif pada pencernaan nutrisi (Ahmed and Nishida 2023). Hasil penelitian Astuti et al. (2019) pada anak kambing sebelum disapih menunjukkan bahwa *milk replacer* dengan penambahan tepung cricket dengan rasio 30% dapat digunakan sebagai *milk replacer* tanpa menimbulkan efek negatif terhadap status kesehatan, palatabilitas

dan profil fermentasi rumen. Penelitian *in vitro* yang dilakukan oleh Renna et al. (2022) pada kambing yang menggunakan pakan *Hermetia illucens*, *Musca domestica* dan *Tenebrio molitor* menghasilkan kandungan asam lemak tak jenuh ganda (PUFA) yang tinggi sehingga mampu meningkatkan kualitas produk pakan ruminansia.

Saat ini, faktor utama penelitian serangga sebagai sumber pakan alternatif untuk ruminansia masih terus ditingkatkan karena dalam industri peternakan, pakan hewan masih merupakan komponen biaya paling tinggi yaitu mencapai 70% (van Huis et al., 2013; Sajid et al., 2023). Selain faktor tersebut, penelitian serangga sebagai pakan alternatif semakin intensif dilakukan karena memiliki beberapa kelebihan selain dalam hal nilai nutrisi (Biasato et al., 2019). Kelebihan tersebut adalah kebutuhan ruang untuk mengembang biakkan serangga dapat diminimalisir (van Huis, 2013; Madau et al., 2020) dan dampak negatif lingkungan yang ditimbulkan masih rendah (Spykman et al., 2021; Smetana et al., 2021; Moruzzo et al., 2021).

Keamanan Penggunaan Serangga sebagai Bahan Pakan dan Aspek Manfaat untuk Lingkungan

Protein hewani asal serangga saat ini dianggap sebagai salah satu sumber protein alternatif yang paling menjanjikan dan berkelanjutan untuk ternak karena dapat diperoleh dengan menerapkan prinsip ekonomi pada skala yang besar untuk menggantikan sumber protein lain yang semakin lama harganya semakin meningkat (Ani and Omeje, 2011; Stamer, 2015; Al-Qazzaz and Ismail;

Gasco et al., 2020). Selain sebagai sumber protein, hasil penelitian tentang serangga juga menghasilkan kandungan yang diyakini secara ilmiah memiliki khasiat penyembuhan berbagai macam penyakit (Zhou et al., 2022). Serangga memiliki khasiat antara lain sebagai anti kanker (Ratcliffe et al., 2011; Ji et al., 2022), anti radang (Ahn et al., 2014; Zielińska et al., 2018), antioksidan (Jena et al., 2018) dan anti hipertensi (Wang et al., 2014). Sebaliknya, meskipun memiliki banyak manfaat terhadap Kesehatan, namun keamanan penggunaan serangga sebagai bahan makanan maupun pakan masih perlu ditelaah lebih lanjut karena banyak jenis serangga mengandung zat toksik yang dikeluarkan oleh kelenjar eksokrin (Giglio et al., 2011; van Huis et al., 2020; Costa-Leonardo et al., 2022). Seperti halnya pada tumbuhan dan pakan ternak, beberapa serangga tidak aman untuk dimakan, karena dapat menularkan penyakit (Ebert, 2019; Brackney et al., 2021), memicu reaksi alergi (de Marchi et al., 2021), menyebabkan keracunan (Tessele et al., 2012), dan bahkan cedera fisik (Schafaschek et al., 2021).

Oibiokpa et al. (2017) menyatakan bahwa serangga juga mengandung anti nutrisi yang dapat mengganggu keamanan jika dikonsumsi. Beberapa serangga juga cenderung berbahaya jika dikonsumsi oleh ternak karena mengandung substansi toksik seperti glikosida sianogenik (Zagrobelny et al., 2009), tannin, oksalat, fenol dan fitat (Babich and Davis, 1981; Adeduntan, 2005; Shantibala et al., 2014). Substansi lain sebagai pertahanan tubuh yang dihasilkan pada tahap pupa *Carabus lefebvrei* bersifat toksik adalah monoterpen, terutama linalool (Giglio et al., 2011). Menurut Belluco et al. (2013) ada dua

kategori serangga beracun yaitu *Cryptotoxics* dan *Phanerotoxics*. *Cryptotoxics* mengandung zat beracun baik dari sintesis langsung atau berasal dari akumulasi pakan serangga, sedangkan *Phanerotoxics* memiliki organ spesifik yang mampu mensintesis racun (Dobermann et al., 2017; Fernandez-Cassi, et al., 2018; Lee et al., 2020; Giampieri et al., 2022). Meskipun demikian, spesies serangga yang biasa digunakan sebagai bahan pakan tidak termasuk dalam kedua kategori tersebut. Sedangkan penelitian tentang kandungan hidrosianida, oksalat, fitat, fenol, dan tanin pada spesies serangga sebagai bahan pakan nilainya jauh di bawah tingkat toksisitas untuk dimakan (Omotoso, 2006; Kunatsa et al., 2020; Sailo et al., 2020). Unsur lain yang perlu diperhatikan adalah adanya kontaminan dalam serangga yang dapat membahayakan ternak. Unsur unsur berbahaya yang terdapat dalam serangga meliputi logam berat (Dar et al., 2015; Malematja et al., 2023), pestisida (Brühl et al., 2021; Sánchez-Bayo, 2021), obat hewan (Meyer et al., 2021; Hoek-van Den Hil et al., 2022), mikotoksin (Schrögel and Wätjen, 2019; Niermans, et al., 2021) dan dioksin (Poma et al., 2017; Pajurek et al., 2022). Dengan demikian, pemanfaatan serangga sebagai salah satu sumber protein alternatif pada ruminansia masih dalam tahapan evaluasi berkelanjutan. Pemanfaatan serangga sebagai bahan pangan maupun pakan juga memerlukan perhatian khusus terutama untuk keamanan ternak yang mengkonsumsi.

Guna meningkatkan keamanan penggunaan serangga sebagai pakan alternatif, maka diperlukan prosesing untuk mengurangi risiko terjadinya keracunan (Ojha et al., 2021; Heussler et al., 2022). Teknologi pemrosesan

bergantung pada spesies serangga, tingkat bahaya keamanan, dan jenis produk akhir (Kooh et al., 2020; Nyangena et al., 2020). Serangga sebagai makanan manusia atau pakan ternak biasanya dipasarkan dalam tiga bentuk berbeda yaitu bentuk utuh (Lenaert et al., 2018; Krzyżaniak et al., 2022), kering atau beku (Liceaga, 2021) dan ekstraksi (EFSA, 2015; Rahman et al., 2023). Lebih lanjut, metode prosesing pada serangga untuk meningkatkan nilai nutrisi dan keamanan pakan antara lain adalah dengan metode fermentasi (Varelas, 2019; Van Campenhout, 2021) penggorengan (Kinyuru et al., 2010; Egonyu et al., 2021), perebusan (Gashe et al., 1997; Nyangena et al., 2020), penggilingan (Parniakov et al., 2021; Acosta-Estrada et al., 2021), ekstraksi (Azagoh et al., 2016; Irungu et al., 2018), pengeringan dan pembekuan (Huang et al., 2019; Saucier et al., 2022).

Sampai saat ini, peraturan keamanan terhadap penggunaan serangga sebagai sumber protein untuk ruminansia masih berbeda diantara berbagai negara (Ahmed et al., 2021). Negara negara seperti Amerika Serikat, Uni Eropa, Kanada masih melarang penggunaan serangga sebagai pakan ternak ruminansia namun mengijinkan untuk bahan pakan ikan dan unggas (Berg et al., 2017; Lähteenmäki-Uutela et al., 2017; Jensen et al., 2021), akan tetapi negara Cina dan Korea Selatan masih belum memiliki peraturan yang spesifik (Sogari et al., 2019). Sedangkan negara negara berkembang dan negara miskin kebanyakan belum memiliki peraturan tentang penggunaan serangga sebagai pakan ternak ruminansia (Dicke, 2018; Jayanegara et al., 2020). Salah satu contoh yang masih perlu evaluasi lebih mendalam adalah adanya potensi risiko

penyakit BSE (*Bovine spongiform encephalopathy*) yang dapat ditularkan lewat bahan pakan. Peraturan Uni Eropa masih melarang penggunaan protein hewani olahan untuk diberikan pada ternak ruminansia oleh karena risiko penyakit BSE (European Commission, 2001; de Brauw et al., 2019; Bessa et al., 2020). Jaminan keamanan bahan pakan yang berasal dari serangga wajib melalui pemeliharaan sesuai dengan aturan, diproses, dan disimpan sesuai dengan persyaratan sanitasi dengan penerapan yang sama untuk sektor bahan pakan dan pakan konvensional (Rumpold and Schlüter, 2013; Madau et al., 2020; Voulgari-Kokota et al., 2023). Sampai saat ini, analisis terhadap komposisi biologis produk berbasis serangga, keamanan mikrobiologis, toksisitas, palatabilitas, dan kandungan senyawa anorganiknya masih harus terus dilakukan untuk mendapatkan produk akhir yang aman bagi manusia dan hewan (Adámek et al., 2018; Murefu et al., 2019; Terrey et al., 2021; Gałęcki et al., 2023).

Saat ini, industri ternak secara global memberikan sumbangan yang besar terhadap sejumlah masalah lingkungan seperti perubahan iklim (Grossi et al., 2019; Cheng et al., 2022), emisi gas rumah kaca (FAO, 2006; Moran and Wall, 2011), penggundulan hutan (Nicholson et al., 1995; Skidmore et al., 2021), erosi tanah (Donovan and Monaghan, 2021), hilangnya keanekaragaman hayati tumbuhan (Morand, 2020), dan pencemaran air (Li et al., 2022). Selain masalah tersebut diatas, saat ini produksi ternak secara global membutuhkan 33% lahan pertanian dunia untuk produksi pakan (Gerber 2013). Menurut van Huis et al. (2017) budidaya serangga sebagai pakan

ternak memiliki beberapa aspek yang menguntungkan dibandingkan dengan budidaya ternak lain sebagai sumber pakan. Keuntungan tersebut antara lain adalah penggunaan lahan yang lebih sedikit sehingga efisien (Oonincx and De Boer, 2012), konsumsi air yang jauh lebih sedikit (Guiné et al., 2021) dampak emisi gas rumah kaca yang rendah (Oonincx et al., 2010) dan efisiensi konversi pakan yang tinggi pada serangga (Halloran et al., 2016; Wegier et al., 2018). Meskipun demikian, industri serangga sebagai pakan ternak juga memiliki sisi negatif. Industri peternakan serangga akan melalui tahapan fraksinasi biomassa serangga sebagai salah satu pemrosesan yang bertanggung jawab terhadap dampak lingkungan (Bava et al., 2019; Tran et al., 2021). Proses tersebut memiliki dampak terhadap besarnya konsumsi energi yang digunakan yaitu sebesar 18,4-37,6%. Proses budidaya untuk keberlangsungan peternakan serangga akan meningkatkan penggunaan energi menjadi 37-55%. Pada akhirnya, dari biaya produksi peternakan serangga 50% digunakan untuk konsumsi listrik (Thévenot et al., 2018; Smetana et al., 2021). Melihat kenyataan diatas, kita masih membutuhkan penelitian penelitian yang lebih mendalam dalam menggunakan insekta sebagai pengganti sumber protein untuk pakan ternak. Kondisi yang sangat menjanjikan dari penggunaan serangga sebagai sumber pakan adalah kemampuannya dalam menahan laju kerusakan alam akibat industri peternakan yang saat ini diyakini memberikan kontribusi kerusakan alam yang sangat besar terutama kalau kita masih menggunakan sumber pakan konvensional.

KESIMPULAN

Serangga sebagai pakan ternak dapat melengkapi dan menghemat biaya untuk menggantikan pakan konvensional seperti tepung ikan dan bungkil kedelai. Pemanfaatan serangga sebagai pakan ternak dapat meningkatkan daur ulang karena kemampuannya mengubah limbah organik bernilai rendah menjadi pakan berkualitas tinggi. Meskipun demikian, serangga sebagai sumber pakan untuk ternak ruminansia masih perlu dicermati karena ruminansia memiliki kemampuan mengubah protein yang tidak dapat dimakan oleh monogastrik seperti rumput menjadi protein. Oleh sebab itu, saat ini serangga lebih tepat digunakan sebagai sumber pakan ternak bagi hewan monogastrik. Namun demikian, jika serangga lebih banyak digunakan sebagai pakan ternak monogastrik, maka ada kemungkinan sejumlah masalah lingkungan seperti produksi gas metan, perubahan iklim, emisi gas rumah kaca belum dapat diatasi karena masalah tersebut lebih banyak ditimbulkan oleh industri peternakan ruminansia.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A.I.M., Wassie, S.E., Korir D., Goopy, J.P., Merbold, L., Butterbach-Bahl, K., Dickhoefer U., Schlecht E. 2019. Digesta passage and nutrient digestibility in Boran steers at low feed intake levels. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 103, 1156 – 116.
- Acosta-Estrada, B.A., Reyes, A., Rosell, C.M., Rodrigo, D., & Ibarra-Herrera, C.C. 2021. Benefits and Challenges in the Incorporation of Insects in Food Products. *Front Nutr*. 30;8:687712.

- Adámek, M., Jiří Mlček, J., Adámková, A., Suchánková, J., Janalíková, M., Borkovcová, M., & Bednářová, M. 2018. Effect Of Different Storage Conditions On The Microbiological Characteristics Of Insect. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*.12(1), 248-253
- Adeduntan, S.A. 2005. Nutritional and antinutritional characteristics of some insects foraging in Akure forest reserve Ondo state, Nigeria . *Journal of Food Technology*. 3, 563 – 567.
- Ahmed, E., & Nishida, T. 2023. Optimal Inclusion Levels of Cricket and Silkworm as Alternative Ruminant Feed: A Study on Their Impacts on Rumen Fermentation and Gas Production. *Sustainability*. 15(2),1415.
<https://doi.org/10.3390/su15021415>
- Ahmed, E., Fukuma, N., Hanada, M., & Nishida, T. 2021. Insects as Novel Ruminant Feed and a Potential Mitigation Strategy for Methane Emissions. *Animals*. 11(9), 2648.
- Ahn, M.Y., Han, J.W., Hwang, J.S., Yun, E.Y., & Lee, B.M. 2014. Anti-inflammatory effect of glycosaminoglycan derived from *Gryllus bimaculatus* (a type of cricket, insect) on adjuvant-treated chronic arthritis rat model. *J. Toxicol. Environ. Health Part A*.77, 1332–1345.
- Alfiko, Y., Xie, D., Astuti, R.T., Wong, J., & Wang, L. 2022. Insects as a feed ingredient for fish culture: Status and trends. *Aquaculture and Fisheries*. 7(2), 166-178.
- Al-Qazzaz, M.F., & Ismail, D.B. 2016. Ismail Insect Meal as a Source of Protein in Animal Diet. *Animal Nutrition and Feed Technology*.16, 527-547.
- Altmann, B.A., & Rosenau, S. 2022. Spirulina as Animal Feed: Opportunities and Challenges. *Foods*. 11(7), 965.
- Ani, A. & Omeje, O. 2011. Effects of enzyme supplementation of raw bambara nut (*Vigna Subterranea* (L) Verdc) waste diets on nutrient utilization and haematological parameters of broiler finishers. *Animal Production Research Advances*. 7, 74-80
- Astuti, D.A., Anggraeny, A., Khotijah, L., Suharti, S., & Jayanegara, A. 2019. Performance, Physiological Status, and Rumen Fermentation Profiles of Pre- and Post-Weaning Goat Kids Fed Cricket Meal as a Protein Source. *Tropical Animal Science Journal*. 42(2), 145-151.
- Azagoh, C., Ducept, F., Garcia, R., Rakotozafy, L., Cuvelier, M.E., Keller, S., Lewandowski, R., & Mezdoor, S. 2016. Extraction and physicochemical characterization of *Tenebrio molitor* proteins. *Food Research International* 88, 24-31.
- Babich, H., & Davis, D.L. 1981. Phenol: A review of environmental and health risks. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 1, 90 – 109.
- Babiker, E.E., Hassan, A.B., & Eltayeb, M.M. 2007. Solubility and functional properties of boiled and fried Sudanese tree locust flour as a function of NaCl concentration. *J. Food Technol*. 5, 210–214.
- Baghele, M., Mishra, S., Benno, V., Meyer-Rochow, V.B., Jung, C., & Ghosh, S. 2022. A review of the nutritional potential of edible snails: A sustainable underutilized food resource. *Indian Journal of Natural Products and Resources*.13(4), 419-433.
- Barker, D., Fitzpatrick, M.P., & Dierenfeld, E.S. 1998. Nutrient composition of selected whole invertebrates. *Zoo Biology* 17, 123-134.
- Bava, L., Jucker, C., Gislón, G., Lupi, D., Savoldelli, S., Zucali, M., & Colombini, S. 2019. Rearing of *Hermetia Illucens* on different organic by-products: influence on growth, waste reduction, and environmental impact. *Animals* 9, 289.
- Bawa, M., Songsermpong, S., Kaewtapee, C., & Chanput, W. 2020. Effect of diet on the growth performance, feed conversion, and nutrient content of the house cricket. *J. Insect. Sci*. 20, 10.
- Bbosa, T., Ndagire, C.T., Mukisa, I.M.,

- Fiaboe, KKM., & Nakimbugwe, D. 2019. Nutritional Characteristics of Selected Insects in Uganda for Use as Alternative Protein Sources in Food and Feed. *Journal of Insect Science*. 16(6),1–8.
- Belforti, M., Gai, F., Lussiana, C., Renna, M., Malfatto, V., & Rotolo, L. 2015. *Tenebrio molitor* meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets: Effects on animal performance, nutrient digestibility and chemical composition of fillets. *Italian Journal of Animal Science*. 14, 670-675.
- Belluco, S., Losasso, C., Maggioletti, M., Alonzi, C.C., Paoletti, M.G., & Ricci, A. 2013. Edible insects in a food safety and nutritional perspective: a critical review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 12, 296– 313.
- Berg, J., Wendin, K., Langton, M., Josell, A., & Davidsson, F. 2017. State of the art report insects as food and feed. *Ann. Exp. Biol.* 5, 1–9.
- Bessa, L.W., Pieterse, E., Marais, J., & Hoffman, L.C. 2020. Why for feed and not for human consumption? The black soldier fly larvae. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 19, 2747–2763.
- Biasato, I., Renna, M., Gai, F., Dabbou, S., Meneguz, M., Perona, G., Martinez, S., Lajusticia, A.C.B., Bergagna, S., Sardi, L., Capucchio, M.T., Bressan, E., Dama, A., Schiavone, A., & Gasco L. 2019. Partially defatted black soldier fly larva meal inclusion in piglet diets: effects on the growth performance, nutrient digestibility, blood profile, gut morphology and histological features. *J Anim Sci Biotechnol*. 10,12.
- Boate, U.R., & Suotonye, B.D. 2020. Cockroach (*Periplaneta americana*): Nutritional Value as Food and Feed For Man and Livestock. *Asian Food Science Journal* 15(2), 37-46.
- Bodenheimer, F.S. 1951. Insects as human food; a chapter of the ecology of man. Dr. W. Junk, Publishers, The Hague
- Bosch, G., & Swanson K.S. 2021. Effect of using insects as feed on animals: pet dogs and cats. *Journal of Insects as Food and Feed*. 7 (5), 795 – 805.
- Bovera, F., Piccolo, G., Gasco, L., Marono, S., Loponte, R., Vassalotti, G., Mastellone, V., Lombardi, P., Attia, Y.A., & Nizza, A. 2015. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*, L.) as a possible alternative to soybean meal in broiler diets. *Br Poult Sci*. 56(5), 569-75.
- Brackney, D.E., LaReau, J.C., & Smith, R.C. 2021. Frequency matters: How successive feeding episodes by blood-feeding insect vectors influences disease transmission. *PLoS Pathog* 17(6), e1009590.
- Brühl, C.A., Bakanov, N., Köthe, S., Eichler, L., Sorg, M., Hörren, T., Mühlethaler, R., Meinel, G., & Lehmann, G.U.C. 2021. Direct pesticide exposure of insects in nature conservation areas in Germany. *Sci Rep* 11, 24144.
- Bukkens, S.G. 1997. The nutritional value of edible insects. *Ecol Food Nutr*. 36, 287– 319.
- Burton, O.T., & Zacccone, P. 2007. The potential role of chitin in allergic reactions. *Trends Immunol*. 28, 419–422.
- Capper, J.L. 2013. Should we reject animal source foods to save the planet? A review of the sustainability of global livestock production. *S. Afr. J. Anim. Sci*. 43, 233– 246.
- Castillo, C., & Hernández, J. 2023. Insects in ruminant nutrition as an urgent measure in the light of the scarcity of raw feedstock. *Research in Veterinary Science*. 155, 124-125.
- Charlton, A.J., Dickinson, M., Wakefield, M.E., Fitches, E., Kenis, M., Han, R., Zhu, F., Kone, N., Grant, M., Devic, E., Bruggeman, G., Prior, R., & Smith R. 2015. Exploring the chemical safety of fly larvae as a source of protein for animal feed. *Journal of insects as food and feed*. 1, 7-16.
- Cheng, M., McCarl, B., & Fei, C. 2022. Climate Change and Livestock

- Production: A Literature Review. *Atmosphere*. 13(1),140.
- Cherdthong, A., & Wanapat, M. 2013. Manipulation of in vitro ruminal fermentation and digestibility by dried rumen digesta. *Livest. Sci*. 153, 94–100.
- Christensen, D.L., Orech, F.O., Mungai, M.N., Larsen, T., Friis, H., & Aagaard-Hansen, J. 2006. Entomophagy among the Luo of Kenya: a potential mineral source? *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 57, 198– 203.
- Coppoolse, H., Borgonjen-van den Berg, K.J., Chopera, P., Hummel, M., Grimble, G., Brouwer, I.D., & Melse-Boonstra, A. 2023. The potential contribution of house crickets to the dietary zinc content and nutrient adequacy in young Kenyan children: a linear programming analysis using Optifood. *Br J Nutr*. 129(3), 478–490..
- Costa-Leonardo, A.M., da Silva, L.B., & Laranjo, L.T. 2022. Termite exocrine systems: a review of current knowledge. *Entomol Exp Appl*. 171, 325–342.
- Dar, M.I., Khan, F.A., Green, I.D., & Naikoo, M.I. 2015. The transfer and fate of Pb from sewage sludge amended soil in a multi-trophic food chain: A comparison with the labile elements Cd and Zn. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int*. 22,16133–16142.
- Dar, W.D., & Gowda, C.L. 2013. Declining Agricultural Productivity and Global Food Security. *J. Crop Improv*. 27, 242–254.
- de Brauw, A., van den Berg, M., Brouwer, I.D., Snoek, H., Vignola, R., Melesse, M., Lochetti, G., van Wageningen, C., Lundy, M., Maitre d’Hotel, E., & Ruben R. (2019). Food system innovations for healthier diets in low and middle-income countries. IFPRI Discussion Paper 01816, International Food Policy Research Institute. 32
- de Castro, R.J.S., Ohara, A., dos Santos, A.J.G., & Domingues, M.A.F. 2018. Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. *Trends Food Sci Technol*. 76, 82–89.
- De Marchi, L., Wangorsch, A., & Zoccatelli, G. 2021. Allergens from Edible Insects: Cross-reactivity and Effects of Processing. *Curr Allergy Asthma Rep*. 21(5),35.
- DeFoliart, G. R. 2012. The human use of insects as a food resource: a bibliographic account in progress <http://www.food-insects.com/>
- DeFoliart, G.R. 1992. Insects as human food: Gene DeFoliart discusses some nutritional and economic aspects. *Crop Protection*.11(5), 395-399.
- Dicke, M. 2018. Insects as feed and the sustainable development goals. *J Insects Food Feed*. 4, 147-156.
- DiGiacomo, K., & Leury, B.J. 2019. Review: insect meal: a future source of protein feed for pigs? *Animal*. 13(12), 3022–3030.
- Dobermann, D., Swift J.A., & Field, L. M. 2017. Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutrition bulletin*. 42(4) 293-308.
- Domingues, C.H.D.F., Borges, J.A.R., Ruviano, C.F., Guidolin, G.F.D, & Carrijo R.M.J 2020. Understanding the factors influencing consumer willingness to accept the use of insects to feed poultry, cattle, pigs and fish in Brazil. *PLoS ONE* 15(4), e0224059.
- Donovan, M., & Monaghan, R. 2021. Impacts of grazing on ground cover, soil physical properties and soil loss via surface erosion: A novel geospatial modelling approach. *Journal of Environmental Management*. 287, 112206.
- Drewery, M.L., Sawyer, J.E., Pinchak, W.E., & Wickersham, T.A. 2014. Effect of increasing amounts of postextraction algal residue on straw utilization in steers. *J. Anim. Sci*. 92, 4642–4649.
- Ebert, T.A. 2019. The Probing Behavior Component of Disease Transmission in

- Insect-Transmitted Bacterial Plant Pathogens. *Insects*. 10(7), 212.
- Egonyu, J.P., Kinyuru, J., Fombong, F., Ng'ang'a, J., Ahmed, Y.A., & Niassy, S. 2021. Advances in insects for food and feed. *International Journal of Tropical Insect Science*. 41, 1903–1911.
- Elahi, U., Xu, C.C., Wang, J., Lin, J., Wu, S.G., Zhang, H.J., & Qi, G.H. 2022. Insect meal as a feed ingredient for poultry. *Anim Biosci*. 35(2), 332-346.
- European Commission. 2001. Commission Regulation (EU) No. 999/2001 of the European Parliament and of the Council of 22 May 2001 laying down rules for the prevention, control and eradication of certain transmissible spongiform encephalopathies. *Official Journal L147*:1-40.
- European Food Safety Authority (EFSA). 2015. Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal* 13, 4257.
- FAO. 2006. Livestock's long shadow: Environmental issues and options. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Fernandez-Cassi, X., Supeanu, A., Jansson, A., Boqvist, S., & Vagsholm, I. 2018. Novel foods: a risk profile for the house cricket (*Acheta domesticus*). *EFSA J*. 16(Suppl1), e16082.
- Finke, M.D. 2004. *Encyclopedia of Entomology*, 1st ed., Kluwer Academic Press: Dordrecht, The Netherlands.
- Finke, M.D. 2002. Complete Nutrient Composition of Commercially Raised Invertebrates Used as Food for Insectivores. *Zoo Biology*. 21, 269–285.
- Finke, M.D. 2013. Complete nutrient content of four species of feeder insects. *Zoo Biology* 32, 27-36.
- Friedman, M. 1996. Nutritional value of proteins from different food sources. A review. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 44 (1), 6-29.
- Fukuda, E.P., Cox, J.R., Wickersham, T.A., & Drewery, M.L. 2022. Evaluation of Black Soldier Fly larvae (*Hermetia illucens*) as a protein supplement for beef steers consuming low-quality forage. *Transl Anim Sci*. 6(1), txac018.
- Gałęcki, R., Bakula, T., & Gołaszewski, J. 2023. Foodborne Diseases in the Edible Insect Industry in Europe—New Challenges and Old Problems. *Foods*. 12(4), 770.
- Gałęcki, R., Zielonka, L., Zasępa, M., Gołębiowska, J., & Bakula, T. 2021. Potential Utilization of Edible Insects as an Alternative Source of Protein in Animal Diets in Poland. *Front. Sustain. Food Syst*. 5, 2021.
- Gasco, L., Dabbou, S., Gai, F., Brugiapaglia, A., Schiavone, A., Birolo, M., Xiccato, G., & Trocino, A. 2019. Quality and Consumer Acceptance of Meat from Rabbits Fed Diets in Which Soybean Oil is Replaced with Black Soldier Fly and Yellow Mealworm Fats. *Animals (Basel)*. 9(9), 629.
- Gasco, L., Biancarosa, I., & Liland, N.S. 2020. From waste to feed: A review of recent knowledge on insects as producers of protein and fat for animal feeds. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*. 23, 67-79.
- Gashe, B.A., Mpuchane, S.F., Siame, B.A., Allotey, J., & Teferra, G. 1997. The microbiology of *Phane*, an edible caterpillar of the emperor moth, *Imbrasia belina*. *J. Food Prot*. 60, 1376–1380.
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. 2013. Tackling climate change through livestock—a global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Ghosh, S., Lee, S.M., Jung, C., & Meyer-Rochow, V.B. 2017. Nutritional composition of five commercial edible insects in South Korea. *J Asia-Pac Entomol*. 20, 686–694.
- Ghosh, S., Jung, C. & Meyer-Rochow, V.B.

2016. Nutritional value and chemical composition of larvae, pupae, and adults of worker honey bee, *Apis mellifera ligustica* as a sustainable food source. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 19, 487–495.
- Giampieri, F., Alvarez-Suarez, J.M., Machì, M., Cianciosi, D., Navarro-Hortal, M.D. & Battino, M. 2022. Edible insects: A novel nutritious, functional, and safe food alternative. *Food Frontiers*, 3 (3), 358-365.
- Giglio, A., Brandmayr, P., Talarico, F., & Brandmayr TZ. 2011. Current knowledge on exocrine glands in carabid beetles: structure, function and chemical compounds. *Zookeys*. 100, 193-201.
- Grossi, G., Goglio, P., Vitali, A. & Williams, A.G. 2019. Livestock and climate change: impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontiers*. 9 (1), 69– 76.
- Guiné, R.P.F., Correia, P., Coelho, C. & Costa, C.A. 2021. The role of edible insects to mitigate challenges for sustainability. *Open Agriculture*. 6(1), 24–36.
- Hăbeanu, M., Gheorghe, A., & Mihalcea, T. 2023. Nutritional Value of Silkworm Pupae (*Bombyx mori*) with Emphases on Fatty Acids Profile and Their Potential Applications for Humans and Animals. *Insects*. 14(3), 254.
- Halloran, A., Roos, N., Eilenberg, J., Cerutti, A., & Bruun, S. 2016. Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 36, 57.
- Herman, R.A., Yan, C.-H., Wang, J.-Z., Xun, X.-M., Wu, C.-K., Li, Z.-N., Ayepa, E., You, S., Gong, L.-C., & Wang, J. 2022. Insight into the silkworm pupae: Modification technologies and functionality of the protein and lipids. *Trends Food Sci. Tech.* 129, 408–420.
- Hermans, W.J.H., Senden, J.M., Churchward-Venne, T.A., Paulussen, K.J.M., Fuchs, C.J., Smeets, J.S.J., van Loon, J.J.A., Verdijk, L.B., & van Loon, L.J.C. 2021. Insects are a viable protein source for human consumption: from insect protein digestion to postprandial muscle protein synthesis in vivo in humans: a double-blind randomized trial. *Am J Clin Nutr.* 114(3),934-944.
- Heussler, C.D., Insam, H., Walter, A., Steiner, S.B.C., Steiner F.M., & Klammsteiner, T. 2022. Life-history traits of black soldier fly reared on agro-industrial by-products subjected to three pre-treatments: a pilot-scale study. *Journal of Insects as Food and Feed*. 9 (5), 545 – 556.
- Hlongwane, Z.T., Rob Slotow, R., & Munyai, T.C. 2020. Nutritional Composition of Edible Insects Consumed in Africa: A Systematic Review. *Nutrients*. 12, 2786.
- Hoek-van Den Hil, E.F., Van De Schans, M.G.M., Bor, G., & Van Der Fels-klerx, H.J. 2022. Effects of veterinary drugs on rearing and safety of black soldier fly (*Hermetia lucens*) larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*. 8 (10), 1097 – 1106.
- Hong, J., & Kim, Y.Y. 2022 Insect as feed ingredients for pigs. *Anim Biosci.* 35(2), 347-355.
- Hu, Q., Yang, L., Cui, F., Zhang, P., Li, Y., & Zhang, F. 2010. Analysis and evaluation of the nutrient components in *Holotrichia parallela* Motschulsky. *Plant Dis. Pests.* 1, 7–9.
- Huang, C., Feng, W., Xiong, J., Wang, T., Wang, W., Wang, C., & Yang, F. 2019. Impact of drying method on the nutritional value of the edible insect protein from black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae: amino acid composition, nutritional value evaluation, in vitro digestibility, and thermal properties. *European Food Research and Technology* 245, 11-21.
- Hussein, M., Pillai, V.V., Goddard, J.M., Park, H.G., Kothapalli, K.S., Ross, D.A., Ketterings, Q.M., Brenna, J.T., Milstein, M.B., Marquis, H., Johnson, P.A., Nyrop, J.P., & Selvaraj, V. 2017. Sustainable production of housefly (*Musca*

- domestica) larvae as a protein-rich feed ingredient by utilizing cattle manure. *PLoS One*. 12(2), e0171708.
- Hyun, S.H., Kwon, K.H., Park, K.H., Jeong, H.C., Kwon, O., Tindwa, H., & Han Y.S. 2012. Evaluation of nutritional status of an edible grasshopper, *Oxya chinensis formosana*. *Entomol. Res.* 42, 284-290.
- Irungu, F.G., Mutungi, C.M., Faraj, A.K., Affognon, H., Ekesi, S., Nakimbugwe, D., & Flaboe, K.K.N. 2018. Proximate composition and in vitro protein digestibility of extruded aquafeeds containing *Acheta domesticus* and *Hermetia illucens* fractions. *J Insects Food Feed.* 4, 275–284.
- 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(1), 1310–1317.
- 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. *Italian Journal of Animal Science* 19(1), 1310-1317.
- Jayanegara, A., Yantina, N., Novandri, B., Laconi, E.B., Nahrowi, N., & Ridla M. 2017. Evaluation of some insects as potential feed ingredients for ruminants: chemical composition, in vitro rumen fermentation and methane emissions. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture.* 42(4), 247-254, Dec. 2017.
- Jena, K., Pandey, J.P., Kumari, R., Sinha, A.K., Gupta, V.P., & Singh, G.P. 2018. Free radical scavenging potential of sericin obtained from various ecoraces of tasar cocoons and its cosmeceuticals implication. *Int. J. Biol. Macromol.* 120, 255–262.
- Jensen, H., Elleby, C., Domínguez, I.P., Chatzopoulos, T., & Charlebois, P. 2021. Insect-based protein feed: from fork to farm. *Journal of Insects as Food and Feed.* 7 (8), 1219-1233
- Ji, X., Wang, J., Ma, A., Feng, D., He, Y., & Yan, W. 2022. Effects of silkworm pupa protein on apoptosis and energy metabolism in human colon cancer DLD-1 cells. *Food Sci. Hum. Wellness.*11, 1171–1176.
- Jongema, Y. 2017. List of edible insects of the world, 2017. Laboratory of Entomology, Wageningen University, Wageningen, the Netherlands.
- Józefiak, D., Józefiak, A., Kierończyk, B., Rawski, M., Świątkiewicz., Długosz, J., & Engberg, R. M. 2016. Insects – A Natural Nutrient Source for Poultry – A Review. *Annals of Animal Science*, 16(2), 297-313.
- Khonkhaeng, B., Wanapat, M., Wongtangtintharn, S., Phesatcha, K., Supapong, C., Suntara, C., Yuangklang, C., Vasupen, K., Khotsakdee, J., Chanjula, P., Gunun, P., Gunun, N., & Anusorn Cherdthong, A. 2022. Tropical Plant Phytonutrient Improves the Use of Insect Protein for Ruminant Feed. *Agriculture.* 12, 1628.
- Kinyuru, J.N., Kenji, G.M., Njoroge, S.M., & Ayieko, M.2010. Effect of processing methods on the in vitro protein digestibility and vitamin content of edible winged termite (*Macrotermes subhylanus*) and Grasshopper (*Ruspolia differens*). *Food Bioprocess Technol.* 3(5), 778–782.
- Kinyuru, J.N., Mogendi, J.B., Riwa, C.A., & Ndung'u, N.W. 2015. Edible insects—A novel source of essential nutrients for human diet: Learning from traditional knowledge. *Anim. Front.* 5, 14–19.
- Köhler, R., Kariuki, L., Lambert, C., & Biesalski, H.K. 2019. Protein, amino acid and mineral composition of some edible insects from Thailand. *Journal of Asia-Pacific Entomology.* 22(1), 372-378.
- Kooh, P., Jury, V., Laurent, S., Audiat-Perrin, F., Sanaa. M., Tesson, V., Federighi, M., & Boué G. 2020. Control of Biological Hazards in Insect Processing: Application

- of HACCP Method for Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) Powders. *Foods*. 9(11), 1528.
- Kouřimská, L., & Adámková, A. 2016. Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal* 4(C), 22-26.
- Koutsos, E.A., Patterson, P.H., Livingston, K.A., & Freel, T.A. 2023. Chapter 17 - The role of insects for poultry feed: present and future perspective. *Mass Production of Beneficial Organisms (Second Edition). Invertebrates and Entomopathogens*. 493-509.
- Kroeckel, S., Harjes, G.E., Roth, I., Katz, H., Wuertz, S., Susenbeth, A., & Schulz, C. 2012. When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute - Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*. 345–352.
- Kröncke, N., & Benning, R. 2023. Influence of Dietary Protein Content on the Nutritional Composition of Mealworm Larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Insects*. 14(3), 261.
- Krongdang, S., Phokasem, P., Venkatachalam, K., & Charoenphun, N. 2023. Edible Insects in Thailand: An Overview of Status, Properties, Processing, and Utilization in the Food Industry. *Foods*. 12(11), 2162.
- Krzyżaniak, M., Aljewicz, M., Bordiean, A., & Stolarski, M.J. 2022. Yellow Mealworm Composition after Convective and Freeze Drying—Preliminary Results. *Agriculture*. 12(2), 149.
- Kunatsa, Y., Chidewe, C., & Zvidzai, C.J. 2020. Phytochemical and anti-nutrient composite from selected marginalized Zimbabwean edible insects and vegetables. *Journal of Agriculture and Food Research*. 2, 100027.
- Lähteenmäki-Uutela, A., Grmelová, N., Hénault-Ethier, L., Deschamps, M-H., Vandenberg, G.W., Zhao, A., Zhang, Y., Yang, B., & Nemané, V. 2017. Insects as Food and Feed: Laws of the European Union, United States, Canada, Mexico, Australia, and China. *European Food and Feed Law Review*. 12(1), 22-36.
- Lee, H.J., Yong, H.I., Kim, M., Choi, Y.S., & Jo, C. 2020. Status of meat alternatives and their potential role in the future meat market - A review. *Asian-Australas J Anim Sci*. 33(10),1533-1543.
- Lenaerts, S., Van Der Borght, M., Callens, A., & Van Campenhout, L. 2018. Suitability of microwave drying for mealworms (*Tenebrio molitor*) as alternative to freeze drying: Impact on nutritional quality and colour. *Food Chem*. 254, 129–136.
- Li, Y., Wang, M., Chen, X., Cui, S., Hofstra, N., Kroeze, C., Ma, L., Xu, W., Zhang, Q., Zhang, F., & Strokal, M. 2022. Multi-pollutant assessment of river pollution from livestock production worldwide. *Water Research*. 209, 117906.
- Liceaga, A.M. 2021. Processing insects for use in the food and feed industry. *Current Opinion in Insect Science*. 48, 32-36.
- Liu, X., Chen, X., Wang, H., Yang, Q., Rehman, K., Li, W., Cai, M., Li, Q., Mazza, L., Zhang, J. Yu, Z., & Zheng, L. 2017. Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLoS ONE*, 12, e0182601.
- Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., Archa, P., Thongpea, S., Paengkoum, S., Purba, R.A.P., & Paengkoum, P. 2022. Nutritional Composition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.) and Its Potential Uses as Alternative Protein Sources in Animal Diets: A Review. *Insects*. 13(9),831.
- Madau, F.A., Arru, B., Furesi, R., & Pulina, P. 2020. Insect Farming for Feed and Food Production from a Circular Business Model Perspective. *Sustainability*. 12(13), 5418.
- Makinde, O.J. 2015. Maggot Meal: A Sustainable Protein Source for Livestock Production-A Review. *Advances in Life*

- Science and Technology. 31,35-42
- Makkar, H.P.S., 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.
- Malematja, E., Manyelo, T.G., Sebola, N.A., Kolobe, S.D., & Mabelebele, M. 2023. The accumulation of heavy metals in feeder insects and their impact on animal production. *Science of The Total Environment.* 885, 10, 163716.
- Manditsera, F.A., Luning, P.A., Fogliano, V., & Lakemond, C.M.M. 2019. Effect of domestic cooking methods on protein digestibility and mineral bioaccessibility of wild harvested adult edible insects. *Food Research International.* 121, 404-411.
- Martin, C., Morgavi, D.P., & Doreau, M. 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal.* 4(3), 351-65.
- Meyer, A.M., Meijer, N., Hoek-van den Hil, E.F., & van der Fels-Klerx, H.J. 2021. Chemical food safety hazards of insects reared for food and feed. *Journal of Insects as Food and Feed.* 7(5), 823-831.
- Meyer-Rochow, V.B., Gahukar, R.T., Ghosh, S., & Jung, C. 2021. Chemical Composition, Nutrient Quality and Acceptability of Edible Insects Are Affected by Species, Developmental Stage, Gender, Diet, and Processing Method. *Foods.* 10(5), 1036.
- Mlcek, J., Rop, O., Borkovcová, M., & Bednářová, M. 2014. A Comprehensive Look at the Possibilities of Edible Insects as Food in Europe – A Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* 64(3), 147-157.
- Morales-Ramos, J.A., Rojas, M.G., Shelby, K.S., & Coudron, T.A. 2016. Nutritional Value of Pupae Versus Larvae of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) as Food for Rearing *Podisus maculiventris* (Heteroptera: Pentatomidae). *Journal of Economic Entomology*, 109(2), 564–571.
- Moran, D. & Wall, E. 2011. Livestock production and greenhouse gas emissions: Defining the problem and specifying solutions, *Animal Frontiers*, 1 (1), 19–25.
- Morand, S. 2020. Emerging diseases, livestock expansion and biodiversity loss are positively related at global scale. *Biological Conservation.* 248, 108707.
- Moruzzo, R., Mancini, S., & Guidi A. 2021. Edible Insects and Sustainable Development Goals. *Insects.* 12(6), 557.
- Murefu, T.R., Macheka, L., Musundire, R., & Manditsera, F.A. 2019. Safety of wild harvested and reared edible insects: A review. *Food Control.* 101, 209-224.
- Mutungi, C., Irungu, F.G., Nduko, J., Mutua, F., Affognon, H., Nakimbugwe, D., & Fiaboe K.K.M. 2017. Postharvest processes of edible insects in Africa: A review of processing methods, and the implications for nutrition, safety and new products development. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 1-23.
- Nagaraja T.G., & Titgemeyer, E.C. 2007. Ruminal Acidosis in Beef Cattle: The Current Microbiological and Nutritional Outlook1, 2. *Journal of Dairy Science.* 90, Supplement, E17-E38.
- Narang, M.P., & Lal, R. 1985. Evaluation of some agro-industrial wastes in the feed of jersey calves. *Agricultural Wastes.* 3,15-21.
- Ngaira, V.M., Wambui, C.C., Mosi R.O., Wayua F.O., & Ilatsia, E.D. 2022. Nutritional Value of German Cockroach Meal (*Blattella germanica*) as a SuperPRO Feed. *Asian Journal of Research in Animal and Veterinary Sciences* 10(1), 16-26
- Nicholson, C.F., Blake, R.W., & Lee, D.R. 1995. Livestock, Deforestation, and Policy Making: Intensification of Cattle Production Systems in Central America Revisited. *Journal of Dairy Science.* 78(3), 719-734.
- Niermans, K., Meyer, A.M., den Hil, E.F.H., van Loon, J.J.A., van der Fels-Klerx, H.J.

2021. A systematic literature review on the effects of mycotoxin exposure on insects and on mycotoxin accumulation and biotransformation. *Mycotoxin Res.* 37(4), 279-295.
- Numbi Muya, G.M., Mutiaka, B.K., Bindelle, J., Francis, F., & Megido, R.C. 2022. Human Consumption of Insects in Sub-Saharan Africa: Lepidoptera and Potential Species for Breeding. *Insects*.13, 886.
- Nyangena, D.N., Mutungi, C., Imathiu, S., Kinyuru, J., Affognon, H., Ekesi, S., Nakimbugwe, D., & Fiaboe, K.K.M. 2020. Effects of Traditional Processing Techniques on the Nutritional and Microbiological Quality of Four Edible Insect Species Used for Food and Feed in East Africa. *Foods*. 9(5), 574.
- Ogunji, J.O., Slawski, H., Schulz, C., Werner, C., & Wirth M. 2006. Preliminary evaluation of housefly maggot meal as an alternative protein source in diet of carp (*Cyprinus carpio* L.) *World Aquaculture Society Abstract Data Aqua 2006 - Meeting*, Abstract 277.
- Oibiokpa, F.I., Akanya, H.O., Jigam, A.A., & Saidu, A.N. 2017. Nutrient and Antinutrient Compositions of Some Edible Insect Species in Northern Nigeria. *Fountain Journal of Natural and Applied Sciences*. 6(1), 9-24.
- Ojha, S., Bußler, S., Psarianos, M., Rossi, G., & Schlüter, O.K. 2021. Edible insect processing pathways and implementation of emerging technologies. *Journal of Insects as Food and Feed*. 7(5), 877-900.
- Ojha, S., El-Din Bekhit, A., Grune, T., & Schlüte, O.K. 2021. Bioavailability of nutrients from edible insects. *Current Opinion in Food Science*. 41, 240-248.
- Okaraonye, C.C., & Ikewuchi, J.C. 2009. Nutritional Potential of *Oryctes rhinoceros* larva. *Pakistan Journal of Nutrition* 8 (1), 35-38.
- Omotoso, O.T., & Adedire, C.O. 2007. Nutrient composition, mineral content and the solubility of the proteins of palm weevil, *Rhynchophorus phoenicis* f. (Coleoptera: Curculionidae). *J Zhejiang Univ Sci B*. 8(5), 318-322.
- Omotoso, O.T. 2006. Nutritional quality, functional properties and anti-nutrient compositions of the larva of *Cirina forda* (Westwood) (Lepidoptera: Saturniidae). *J Zhejiang Univ Sci B*. 7(1), 51-55.
- Oonincx, D.G.A.B., & De Boer, I.J.M. 2012. Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans-a life cycle assessment. *PLoS ONE*. 7(12), e51145.
- Oonincx, D.G.A.B., Van Itterbeeck, J., Heetkamp, M.J.W., Van den Brand, H., Van Loon, J.J.A., & Van Huis, A. 2010. An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PLoS ONE*. 5(12), e14445.
- Oonincx, D.G.A.B., & Van der Poel, A.F., 2011. Effects of diet on the chemical composition of migratory locusts (*Locusta migratoria*). *Zoo Biology* 30, 9-16.
- Oonincx, D.G.A.B. & Finke, M.D. 2021. Nutritional value of insects and ways to manipulate their composition. *Journal of Insects as Food and Feed*. 7(5), 639-659.
- Orkus, A. 2021. Edible Insects versus Meat—Nutritional Comparison: Knowledge of Their Composition Is the Key to Good Health. *Nutrients*. 13, 1207.
- Pajurek, M., Warenik-Bany, M., Mikołajczyk, S., Maszewski, S., & Kwiatek, K. 2022. Dioxins and polychlorinated biphenyls in insect processed animal proteins used as a feed – is there a health risk?. *Journal of Insects as Food and Feed*. 9 (1), 65 – 75.
- Parniakov, O., Mikhrovska, M., Wiktor, A., Alles, M., Ristic, D., Bogusz, R., Nowacka, M., Devahastin, S., Mujumdar, A., Heinz, V., & Smetana, S. (2022) Insect processing for food and feed: A review of drying methods. *Drying Technology*. 40(8), 1500-1513.
- Payne, C.L.R., Scarborough, P., Rayner, P., & Nonaka K. 2016. Are edible insects more

- or less ‘healthy’ than commonly consumed insects? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over- and under-nutrition. *Eur. J. Clin. Nutr.* 70, 285–291.
- Pennino, M., Dierenfeld, E.S., & Behler, J.L. 1991. Retinol, alphotocopherol, and proximate nutrient composition of invertebrates used as feed. *International Zoo Yearbook* 30, 143-149.
- Poma, G., Cuykx, M., Amato, E., Calaprice, C., Focant, J.F., & Covaci, A. 2017. Evaluation of hazardous chemicals in edible insects and insect-based food intended for human consumption. *Food and Chemical Toxicology.* 100, 70-79.
- Pruitt, K.D., Kerna, N.A., Flores, J.V., Chawla, S., Nwokorie, U., Carsrud, N.D.V., Okpo, N.C., Ani, C.M., Holets, H.M., & Anderson II JA. 2022. Insects as a Viable and Sustainable Protein and Food Source for Human Consumption”. *EC Nutrition* 17, 60-70.
- Radwan, M.A., Maggiolino, A., Hassanien, H.A.M., Palo, P.D., El-Kassas, N.E.M., Abbas, H.S., & Salem, A.Z.M. 2023. Dietary utilization of mealworm frass in rabbit feeding regimes and its effect on growth, carcass characteristics, and meat quality. *Front. Vet. Sci.* 10, 1069447.
- Raheem, D., Carrascosa, C., Oluwole, O.B., Nieuwland, M., Saraiva, A., Millan, R., & Raposo, A. 2018. Traditional consumption of and rearing edible insects in Africa, Asia and Europe. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 59, 2169–2188.
- Rahman, M., Byanju, B., & Buddhi P.L. 2023. Protein, lipid, and chitin fractions from insects: Method of extraction, functional properties, and potential applications, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition.*
- Ramos-Elorduy, J., Moreno, J.M.P., Prado, E.E., Perez, M.A., Otero, J.L., & de Guevara, O.L. 1997. Nutritional Value of Edible Insects from the State of Oaxaca, Mexico. *J Food Compos Anal* 10, 142–157.
- Ramos-Elorduy, J., 2009. Anthropo-entomophagy: cultures, evolution and sustainability. *Entomological Research* 39, 271-288.
- Rashmi, K.M., Chandrasekharaia, M., Soren, N.M., Prasad, K.S., David, C.G., Thirupathaiah, Y., & Sivaprasad, V. 2018. Effect of dietary incorporation of silkworm pupae meal on in vitro rumen fermentation and digestibility. *Indian J Anim Sci.* 88, 731–5.
- Ratcliffe, N.A., Mello, C.B., Garcia, E.S., Butt, T.M., & Azambuja, P. 2011. Insect natural products and processes: New treatments for human disease. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 41, 747–769.
- Renna, M., Coppa, M., Lussiana, C. Le Morvan, A., Gasco, L., & Maxin, G. 2022. Full-fat insect meals in ruminant nutrition: in vitro rumen fermentation characteristics and lipid biohydrogenation. *J Animal Sci Biotechnol.* 13, 138.
- Riekkinen, K., Väkeväinen, K., & Korhonen, J. 2022. The Effect of Substrate on the Nutrient Content and Fatty Acid Composition of Edible Insects. *Insects.* 13(7), 590.
- Rodríguez-Rodríguez, M., Barroso, F.G., Fabrikov, D., & Sánchez-Muros, M.J. 2022. In Vitro Crude Protein Digestibility of Insects: A Review. *Insects.*; 13(8), 682.
- Rouillé, B., Jost, J., Fañça, B., Bluet, B., Jacqueroud, M.P., J Seegers, J., Charroin, T., & Cozler, Y. 2023. Evaluating net energy and protein feed conversion efficiency for dairy ruminant systems in France. *Livestock Science.* 269, 105170.
- Rumbos, C.I., Karapanagiotidis, I.T., Mente, E., Psoufakis, P., & Athanassiou, C.G. 2020. Evaluation of various commodities for the development of the yellow mealworm, *Tenebrio molitor*. *Sci Rep* 10, 11224.
- Rumpold, B.A., & Schlüter, O.K. 2013. Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Mol. Nutr. Food Res.* 57, 802–823.

- Rumpold, B.A., & Schlüter, O. 2015. Insect-based protein sources and their potential for human consumption: Nutritional composition and processing, *Animal Frontiers*. 5(2), 20–24.
- Rumpold, B.A., & Schlüter, O.K. 2013. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 17, 1-11.
- Sailo, S., Bhagawati, S., Sarmah, S.B.K & Pathak, K. 2020. Nutritional and antinutritional properties of few common edible insect species of Assam. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 8(2), 1785-1791.
- Sajid, Q.U.A., Asghar, M.U., Tariq, H., Wilk, M., & Platek, A. 2023. Insect Meal as an Alternative to Protein Concentrates in Poultry Nutrition with Future Perspectives (An Updated Review). *Agriculture*. 13(6),1239.
- Saleh, H.H.E. 2020. Review on Using of Housefly Maggots (*Musca domestica*) in Fish Diets. *Journal of Zoological Research*. 02(4), 39-46.
- Sánchez-Bayo F. 2021. Indirect Effect of Pesticides on Insects and Other Arthropods. *Toxics*. 9(8), 177.
- Saucier, L., M'ballou, C., Ratti, C., Deschamps, M.-H., Lebeuf, Y., & Vandenberg, G.W. 2022. Comparison of black soldier fly larvae pre-treatments and drying techniques on the microbial load and physico-chemical characteristics. *Journal of Insects as Food and Feed*. 8 (1), 45-64.
- Scala, A., Cammack, J.A., Salvia, R., Scieuzo, C., Franco, A., Bufo, S.A., Tomberlin, J.K., & Falabella, P. 2020. Rearing substrate impacts growth and macronutrient composition of *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) larvae produced at an industrial scale. *Sci Rep* 10, 19448.
- Schafaschek, A.I.I., Portugal, T.B., Filus, A., de Moraes, A., de Camargo Guaraldo, A., Pritsch, I.C., & Molento, M.B. 2021. Transient Threshold Abundance of *Haematobia irritans* (Linnaeus, 1758) In Cattle Under Integrated Farming Systems. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences* 11, 322-341.
- Schluter, O., Rumpold, B., Holzhauser, T., Roth, A., Vogel, R.F., Quasigroch, W., Vogel, S., Heinz, V., Jager, H., Bandick, N., Kulling, A., Knorr, D., Steinberg, P., & Engel, K.H. 2017. Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. *Mol Nutr Food Res*. 61, 1600520.
- Schmidt, A., Call, L.-M., Macheiner, L., & Mayer, H.K. 2019. Determination of vitamin B12 in four edible insect species by immunoaffinity and ultra-high performance liquid chromatography. *Food Chem*. 281, 124–129.
- Schrögel, P., & Wätjen W. 2019. Insects for Food and Feed-Safety Aspects Related to Mycotoxins and Metals. *Foods*. 8(8), 288.
- Shah, A.A., Totakul, P., Matra, M., Cherdthong, A., Hanboonsong, Y., & Wanapat, M. 2022. Nutritional composition of various insects and potential uses as alternative protein sources in animal diets. *Anim Biosci*. 35(2), 317-331.
- Shantibala, T., Lokeshwari, R.K., & Debaraj, H. 2014. Nutritional and antinutritional composition of the five species of aquatic edible insects consumed in Manipur, India. *J Insect Sci*. 14,14.
- Shumo, M., Osuga, I.M., Khamis, F.M., Tanga, C.M., Fiab, K.K.M., Subramanian, S., Ekesi, S., Van Huis, A., Borgemeister, C., & Fiaboe, K.K.M. 2019. The nutritive value of black soldier fly larvae reared on common organic waste streams in Kenya. *Sci. Rep*. 9, 10110.
- Skidmore, M.E., Moffette, F., Rausch, L., Christie, M., Munger, J., & Gibbs, H.K. 2021. Cattle ranchers and deforestation in the Brazilian Amazon: Production, location, and policies. *Global*

- Environmental Change. 68, 02280.
- Smetana, S., Spykman, R., & Heinz, V. 2021. Environmental aspects of insect mass production. *Journal of Insects as Food and Feed*. 7(5), 553-571.
- Sogari, G., Amato, M., Biasato, I., Chiesa, S., & Gasco, L. 2019. The Potential Role of Insects as Feed: A Multi-Perspective Review. *Animals*. 9(4), 119.
- Spykman, R., Hossaini, S.M., Peguero, D.A., Green, A., Heinz, V., & Smetana, S. 2021. A modular environmental and economic assessment applied to the production of *Hermetia illucens* larvae as a protein source for food and feed. *Int J Life Cycle Assess*. 26, 1959–1976.
- Ssepuuya, G., Mukisa, I.M., & Nakimbugwe, D., 2017. Nutritional composition, quality, and shelf stability of processed *Ruspolia nitidula* (edible grasshoppers). *Food Science & Nutrition* 5: 103-112.
- Stamer, A. 2015. Insect proteins-a new source for animal feed: The use of insect larvae to recycle food waste in high-quality protein for livestock and aquaculture feeds is held back largely owing to regulatory hurdles. *EMBO Rep*. 16(6), 676-80.
- Sun-Waterhouse, D., Waterhouse, G.I.N., You, L., Zhang, J., Liu, J., Liu, Y., Ma, L., Gao, J., & Dong, Y. 2016. Transforming insect biomass into consumer wellness foods: A review. *Food Res. Int*. 89,129–151.
- Tanga, C.M., Mokaya, H.O., Kasiera, W., & Subramanian, S. 2023. Potential of Insect Life Stages as Functional Ingredients for Improved Nutrition and Health. *Insects*. 14(2),136.
- Terrey, D., James, J., Tankovski, I., Dalim, M., van Spankeren, M., Chakraborty, A., Schmitt, E., & Paul, A. 2021. Palatability Enhancement Potential of *Hermetia illucens* Larvae Protein Hydrolysate in *Litopenaeus vannamei* Diets. *Molecules*. 26(6),1582.
- Tessele, B., Brum, J.S., Schild, A.L., Soares, M.P., & Barros, C.S.L. 2012. Sawfly larval poisoning in cattle: Report on new outbreaks and brief review of the literature. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 32(11), 1095-1102.
- Thévenot, A., Rivera, J.L., Wilfart, A., Maillard, F., Hassouna, M., Senga-Kiesse, T., Le Féon, S., & Aubin, J. 2018. Mealworm meal for animal feed: environmental assessment and sensitivity analysis to guide future prospects. *Journal of Cleaner Production*. 170, 1260- 1267.
- Toral, P.G., Hervás, G., González-Rosales, M.G., Mendoza, A.G., Robles-Jiménez, L.E., & Frutos P. 2022. Insects as alternative feed for ruminants: comparison of protein evaluation methods. *J Animal Sci Biotechnol* 13(21),1-8.
- Tran, H.Q., Doan, H.V., & Stejskal, V. 2021. Environmental consequences of using insect meal as an ingredient in aquafeeds: A systematic view. *Reviews in Aquaculture*. 14(1), 237-251.
- Tuhumury, H.C.D. 2021. Edible insects: Alternative protein for sustainable food and nutritional security. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 883, 012029.
- Udomsil, N., Imsoonthornruksa, S., Gosalawit, C., & Ketudat-Cairns, M. 2019. Nutritional Values and Functional Properties of House Cricket (*Acheta domesticus*) and Field Cricket (*Gryllus bimaculatus*). *Food Science and Technology Research*. 25 (4), 597-605.
- Ukoroije, R.B., & Bawo, D.S. 2020. Cockroach (*Periplaneta americana*): Nutritional Value as Food and Feed For Man and Livestock. *Asian Food Science Journal* 15(2), 37-46.
- Valdés, F., Villanueva, V., Durán, E., Campos, F., Avendaño, C., Sánchez, M., Domingoz-Araujo, C., & Valenzuela C. 2022. Insects as Feed for Companion and Exotic Pets: A Current Trend. *Animals*. 12(11),1450.
- Van Campenhout, L. 2021. Fermentation technology applied in the insect value

- chain: making a win-win between microbes and insects. *Journal of Insects as Food and Feed*. 7(4), 377-381.
- Van Huis, A., Oonincx, B.G.A.B., Rojo, S., & Tomberlin, J.K. 2020. Insect as feed: House fly or black soldier fly. *Journal of Insects as Food and Feed*. 6(3), 221-229.
- Van Huis, A. 2013. Potential of insects as food and feed in assuring food security *Annu Rev Entomol*. 58, 563-583.
- van Huis, A., Dennis, G.A.B., & Oonincx, D.G.A.B. 2017. The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agron. Sustain. Dev*. 37, 43.
- van Huis, A. 2023. Prospects for insects as human food. *J Consum Prot Food Saf* 18, 105–106.
- van Huis, A., van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. 2013. *Edible Insects. Future Prospects for Food and Feed Security* FAO, Rome (2013)
- Varelas., V. 2019. Food Wastes as a Potential New Source for Edible Insect Mass Production for Food and Feed: A review. *Fermentation*. 5(3), 81.
- Voulgari-Kokota, A., van Loon, M.S., & Bovenkerk., B. (2023) Insects as mini-livestock: Considering insect welfare in feed production, *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences*. 95,1.
- Wachirapakorn, C., Pilachai, K., Wanapat, M., Pakdee, P., & Cherdthong, A. 2016. Effect of ground corn cobs as a fiber source in total mixed ration on feed intake, milk yield and milk composition in tropical lactating crossbred Holstein cows. *Anim. Nutr*. 2, 334–338.
- Wang, W., Wang, N., & Zhang, Y. 2014. Antihypertensive properties on spontaneously hypertensive rats of peptide hydrolysates from silkworm pupae protein. *Food Nutr. Sci*. 5, 1202–1211.
- Wang, Y.S., & Shelomi M. 2017. Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*. 6, 91.
- Washaya, S., Tavirimirwa, B., Namilonga, R., Tembure, N., & Kaphuma, A. (2018). Poultry manure as a protein supplement in indigenous goat production in Zimbabwe. *International Journal of Livestock Production*. 9(9), 246-252.
- Wegier, A., Alavez, V., Pérez-López, J., Calzada, L., & Cerritos, R. 2018. Beef or grasshopper hamburgers: the ecological implications of choosing one over the other. *Basic and Applied Ecology*. 26, 89-100.
- Wendin, K., Mårtensson, L., Djerf, H., & Langton, M. 2020. Product Quality during the Storage of Foods with Insects as an Ingredient: Impact of Particle Size, Antioxidant, Oil Content and Salt Content. *Foods*. 9, 791.
- Womeni, H.M., Tiencheu, B., Linder, M., Nabayo, E.M.C., Tenyang, N., Mbiapo, F.T., Villeneuve, P., Fanni, J., & Parmentier, M. 2012. Nutritional Value And Effect Of Cooking, Drying And Storage Process On Some Functional Properties Of *Rhynchophorus Phoenicis*. *International Journal of Life Science and Pharma Research*, 2, 203-219.
- Yang, Q., Liu, S., Sun, J., Yu, L., Zhang, C., Bi, J., & Yang, Z. 2014. Nutritional composition and protein quality of the edible beetle *Holotrichia parallela*. *J Insect Sci*. 14,139.
- Yen, A.L. 2009. Edible insects: Traditional knowledge or western phobia? *Entomol Res*. 39, 289–298.
- Yuan, C., Cai, Y., Niu, Z., Hu, L., Kuang, E., & Zhang, W. 2022. Potential of *Drosophila melanogaster* (fruit fly) as a dietary protein source for broilers. *J Anim Sci*. 100(11), skac290.
- Zagrobelny, M., Dreon, A.L., Gomiero, T., Marcazzan, G.L., Glaring, M.A., Moller, B.L., & Paoletti, M.G. 2009. Toxic moths: source of a truly safe delicacy. *J. Ethnobiol*. 29, 64–76.
- Zhou, Y., Wang, D., Zhou, S., Duan, H., Guo, J., & Yan, W. 2022. Nutritional Composition, Health Benefits, and

Application Value of Edible Insects: A Review. *Foods*. 11(24), 3961.

Zhou, J., & Han, D. 2006. Safety evaluation of protein of silkworm (*Antheraea pernyi*) pupae. *Food and chemical toxicology: an international journal published for the British Industrial Biological Research Association*. 44(7), 1123-1130.

Zhuravlev, M.S., Vertiprakhov, V.G., Koshcheyeva, M.V., Buryakov, N.P., Smahliuk, M.I., & Istomin, A.I. 2020. The standardized ileal digestibility of amino acids from protein concentrate based on the larvae of common green bottle fly *Lucilia* spp. (Diptera: Calliphoridae) and its effects on the morphological and biochemical blood indices in broilers (*Gallus gallus* L.). *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*, 55(6), 1233-1244.

Zielińska, E., Baraniak, B., & Karaś, M. 2018. Identification of antioxidant and anti-inflammatory peptides obtained by simulated gastrointestinal digestion of three edible insects species (*Gryllodes sigillatus*, *Tenebrio molitor*, *Schistocerca gregaria*). *Int. J. Food Sci. Technol.* 53, 2542–2551.