

## **BLACK SOLDIER FLY (*Hermetia illucens* L.): AGEN BIOKONVERSI PRODUK SAMPING INDUSTRI KELAPA SAWIT DAN PEMANFAATANNYA DALAM PRODUKSI MINYAK DAN PROTEIN**

**Mulki Salendra Kusumah**

**Abstrak** - Besarnya jumlah produk samping organik yang dihasilkan dari aktivitas industri kelapa sawit, berpotensi menjadi cemaran *greenhouse gas* (GHG) terhadap lingkungan apabila tidak ditangani dengan baik. *Black soldier fly* (BSF) merupakan agen biokonversi yang dapat mengkonversi produk samping organik industri kelapa sawit menjadi berbagai produk bernilai tinggi seperti protein, lemak, kitin, dan pupuk hayati. Tulisan ini memaparkan berbagai hasil penelitian terkait kemampuan BSF dalam mengkonversi produk samping industri kelapa sawit seperti tandan kosong kelapa sawit (TKKS), *palm oil solid decanter* (POSD), dan bungkil inti sawit (BIS). Selain itu, dipaparkan juga komposisi asam lemak dan asam amino yang dihasilkan oleh larva BSF, serta berbagai macam metode ekstraksi dalam memproduksi minyak dan protein dari BSF.

**Kata kunci:** *Black soldier fly*, bungkil inti sawit, ekstraksi minyak, ekstraksi protein, *palm oil solid decanter*, tandan kosong kelapa sawit

### **PENDAHULUAN**

Indonesia merupakan penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia, yang secara simultan menghasilkan produk samping organik dalam jumlah besar. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan produk samping padat terbanyak dari proses ekstraksi minyak kelapa sawit dengan jumlah berkisar antara 210-230 kg, sedangkan *palm oil mill effluents* (POME) merupakan produk samping cair terbanyak berkisar antara 583-650 kg dari setiap satu ton TBS yang diolah (Stichnothe & Schuchardt, 2011; Leela & Nur, 2019). Selain itu, dihasilkan pula *palm oil solid decanter* (POSD) sebanyak 40-50 kg dari setiap pengolahan satu ton TBS. Produk-produk samping tersebut berpotensi memberikan dampak buruk kepada lingkungan apabila tidak ditangani dengan baik. Berdasarkan kajian *Global Warming Potential* (GWP) yang dilakukan oleh Stichnothe & Schuchardt (2011), untuk mengolah satu ton tandan buah segar (TBS) kelapa sawit, potensi cemaran *greenhouse gas*

(GHG) yang akan dilepaskan ke lingkungan sebesar 460 kg CO<sub>2eq</sub>. Sebanyak 247 kg CO<sub>2eq</sub> bersumber dari TKKS yang sengaja ditumpuk di areal perkebunan kelapa sawit, dan sebanyak 135 kg CO<sub>2eq</sub> bersumber dari kolam limbah POME. Sementara itu, POSD berkontribusi terhadap cemaran dalam bentuk nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) (Dewayanto, Sahad, & Nordin, 2009; Stichnothe & Schuchardt, 2011).

Peningkatan daya guna produk samping industri kelapa sawit untuk mengurangi angka cemaran lingkungan dapat dilakukan melalui pemanfaatannya menjadi sumber energi terbarukan, pupuk organik, atau pakan ternak. Beberapa penelitian melaporkan bahwa terdapat serangga yang mampu mengolah produk samping tersebut menjadi beragam produk, yang dikenal sebagai lalat tentara hitam atau *black soldier fly* (BSF).

BSF merupakan serangga yang banyak ditemukan pada TKKS yang sudah melapuk di perkebunan kelapa sawit (Jayanthi, Khairani, Herika, Muhammad, & Rafiqah, 2017). BSF disebut sebagai agen biokonversi karena kemampuannya dalam mengkonversi berbagai material organik menjadi berbagai produk bernilai tinggi seperti protein, lemak, dan kitin. Selain itu, sisa material organik tidak terkonsumsi yang bercampur dengan hasil ekskresi

---

*Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit*

Mulki Salendra Kusumah (✉)  
Pusat Penelitian Kelapa Sawit  
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan 20158, Indonesia

Email: mulkikusumah@gmail.com

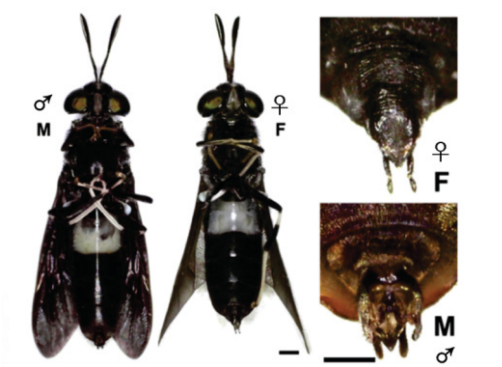
dapat dimanfaatkan sebagai pupuk hayati (Sasmita, Rokmah, Sakiroh, Hafif, & Putra, 2022). Oleh karena kemampuannya dalam mengkonversi material organik yang sangat efektif, BSF telah banyak dikembangkan dalam lingkungan terkontrol dengan berbagai jenis material organik, salah satunya adalah produk samping industri kelapa sawit. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Mujahid, Amin, Hariyadi, & Fahmi (2017), TKKS berhasil dikonversi oleh BSF menjadi biomassa larva dengan potensi kandungan lemak 35,40% dan protein sebesar 36,41%. Selain itu, BSF juga mampu mengkonversi POSD menjadi biomassa larva dengan kandungan tinggi lemak hingga mencapai 70,07% (Jing Lim et al., 2018). Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Rachmawati, Buchori, Hidayat, Hem, & Fahmi (2015) dan Bokau & Basuki (2018) menyatakan bahwa BSF juga dapat mengkonversi bungkil inti sawit (BIS) menjadi biomassa larva dengan kandungan protein yang tinggi berkisar antara 45-49%.

Biomassa BSF dapat menghasilkan minyak yang dapat digunakan sebagai bahan pakan ternak (Spranghers et al., 2017), biodiesel (Nguyen, Liang, Doan, Su, & Yang, 2017; Jing Lim et al., 2022), bahkan di sebagian negara barat mulai mengarahkan lemak

BSF sebagai bahan pelengkap makanan seperti pada pembuatan roti (Delicato, Schouteten, Dewettinck, Gellynck, & Tzompa-Sosa, 2020) dan margarin (Smetana, Leonhardt, Kauppi, Pajic, & Heinz, 2020). Selain itu, biomassa BSF juga dapat menghasilkan protein yang berpotensi digunakan sebagai pakan ikan (Were, 2022), pakan ayam (Bovera et al., 2018; Murawska et al., 2022), dan pakan burung (Loponte et al., 2017).

### **BLACK SOLDIER FLY (*Hermetia illucens* L.)**

*Black soldier fly* (BSF) dengan nama latin *Hermetia illucens* L. adalah agen biokonversi jenis serangga yang berasal dari filum Arthropoda, kelas Serangga, ordo Diptera dan famili Stratiomyidae (Pérez-Pacheco et al., 2022). BSF memiliki tubuh berwarna hitam dengan bagian segmen basal abdomennya berwarna transparan sehingga sekilas menyerupai abdomen tawon, dan panjang lalat dewasa berkisar antara 15-20 mm (Gambar 1). Saat sayap lalat BSF dewasa telah mengembang sempurna, jangkauan sayapnya menutupi bagian torak hingga abdomennya (Oonincx, Volk, Diehl, van Loon, & Belusič, 2016).



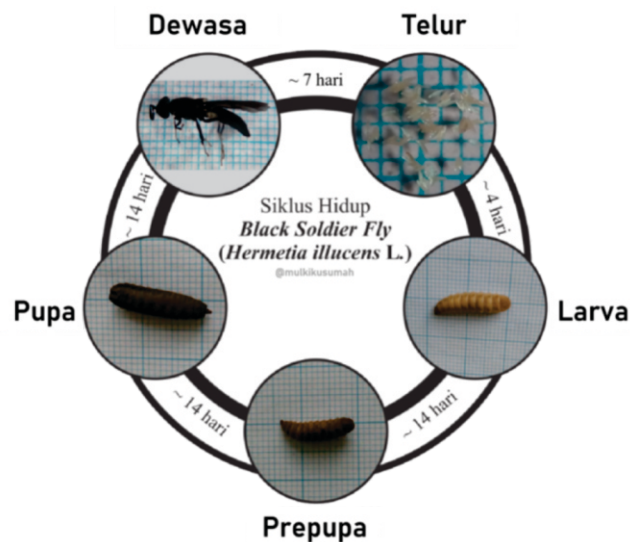
Gambar 1. Morfologi BSF jantan dan betina, serta perbedaan bentuk alat kelaminnya. Sumber: Oonincx et al. (2016)

Berdasarkan informasi yang dipaparkan oleh Soetemans, Uyttebroek, & Bastiaens (2020), BSF memiliki lima fase pada siklus hidupnya (Gambar 2). Fase pertama adalah telur, pada fase ini dari seekor lalat BSF betina dihasilkan 300-500 butir telur dengan berat rata-rata setiap telur sekitar  $0,028 \pm 0,001$  mg (Chia et al., 2018). Telur akan menetas menjadi larva dalam 1-5 hari tergantung pada

kondisi lingkungannya. Penetasan telur pada BSF optimal pada suhu 28–30 °C (Purkayastha & Sarkar, 2022), dan pada kelembaban relatif yang lebih besar dari 60% (Holmes et al., 2012). Setelah telur menetas, BSF memasuki fase kedua sebagai larva. Pada fase ini larva BSF akan aktif mengonsumsi pakan dan mengalami pertumbuhan yang sangat signifikan setiap harinya hingga hari ke 20-60

tergantung kondisi tempat pertumbuhannya. Suhu optimal pada fase kedua ini berada di antara 25-35°C dan kelembaban relatif 70% (Holmes et al., 2012; Chia et al., 2018; Shumo et al., 2019), dengan kepadatan populasi yang direkomendasikan adalah 1,2-2,4 larva/cm<sup>2</sup> (Purkayastha & Sarkar, 2022). Fase ketiga adalah prepupa, pada fase ini warna kulit BSF berubah menjadi coklat gelap dan mulai menjauhi tempat makanannya untuk berpindah ke tempat yang lebih kering dan tertutup untuk memasuki fase keempat sebagai pupa (Diener, Zurbrugg, & Tockner, 2009). Pada fase kelima sebagai lalat dewasa, BSF

hanya akan melakukan tugas reproduksi. Lalat BSF tidak memiliki bagian mulut untuk mencerna makanan, sehingga pada fase ini tidak ada aktivitas makan lagi. Hal ini menyebabkan lalat BSF bukan sebagai vektor pembawa penyakit bagi manusia (Sinansari & Fahmi, 2020). Cahaya merupakan media untuk lalat jantan menemukan lalat betina dalam proses reproduksi (Oonincx et al., 2016). Menurut Zhang et al., (2010) dan Nakamura, Ichiki, Shimoda, & Morioka (2016), perkawinan lalat BSF terjadi pada saat panjang gelombang di suatu tempat mencapai 450 dan 700 nm.



Gambar 2. Siklus hidup BSF. Sumber: Kusumah, Arifani, Sholifiany, & Samosir (2015)

## PERAN BSF DALAM PENGOLAHAN PRODUK SAMPING INDUSTRI KELAPA SAWIT

Secara umum produk-produk samping yang dihasilkan dari aktivitas industri kelapa sawit adalah material organik dengan kandungan selulosa dan lignin yang tinggi, masing-masing berkisar antara 17-39% dan 21-37% (PPKS, 2022). Tingginya kandungan selulosa dan lignin pada produk samping tersebut mengakibatkan material organik ini cukup sulit untuk terdegradasi dan membutuhkan waktu yang lama agar terdekomposisi secara alami (Mujahid et al., 2017). Oleh karena itu, dibutuhkan perlakuan awal (*pre-treatment*) tambahan sebelum diaplikasikan menjadi pakan larva BSF. Sementara itu, pada larva BSF yang diberi pakan limbah makanan manusia (selulosa 1,60% dan tidak

mengandung lignin) (Zheng et al., 2012; Surendra et al., 2016), dan pakan ayam (selulosa 0,71-0,97% dan lignin 0,22-0,59%) (Bampidis & Christodoulou, 2011; Spranghers et al., 2017) tidak memerlukan perlakuan awal dan dapat dicerna langsung oleh larva BSF.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Mujahid, et al. (2017), TKKS sebelum diaplikasikan sebagai pakan larva BSF diolah terlebih dahulu dengan bantuan *Trichoderma* sp. untuk mengurai lignin dan selulosa. Perlakuan tersebut menghasilkan larva BSF dengan bobot rata-rata 133 mg/ekor dan memiliki kandungan lemak sebesar 36,41%, serta protein 35,40%. Pada produk samping POSD, dilakukan fermentasi anaerobik menggunakan bantuan enzim selulase selama 3 hari sebagai

Tabel 1. Uraian teknis pengolahan biomassa dan produk samping industri kelapa sawit oleh BSF beserta kualitas biomassa BSF yang dihasilkannya

Material Organik	Lokasi Riset	Perlakuan awal (pre-treatment)	Teknis budidaya	Kondisi lingkungan	Umur panen (hari)	Fisik larva BSF	Lemak (%)	Protein (%)	Sumber
POSD	Kotawaringin Barat, Kalimantan Tengah, Indonesia	N/A	Limbah ditebarkan pada terpal, lalu lalat BSF liar dibiarkan bertelur dan berkembangbiak pada media tersebut	T: 32,60-37,20 °C RH: 86,05-87,95%	20	Panjang: 15-23 mm	33,72	29,05	(Widjaja & Utomo, 2021)
	Johor, Malaysia	Fermentasi aerobik menggunakan enzim selulase dengan konsentrasi 1,0 % (w/w), selama 72 jam, pada kecepatan 300 rpm	Telur ditetaskan pada media limbah kelapa parut, setelah 8 hari dipisahkan sebanyak 30 ekor, lalu dimasukkan ke dalam gelas plastik berisi pakan sebanyak 10 g, lalu dikembangbiakkan selama 16 hari	T: 30 °C, RH: 65-70%	24	Bobot: 6,56 mg	70,07	22,3	(Jing Lim et al., 2022)

(continued)

Material Organik	Lokasi Riset	Perlakuan awal ( <i>pre-treatment</i> )	Teknis budidaya	Kondisi lingkungan	Umur panen (hari)	Fisik larva BSF	Lemak (%)	Protein (%)	Sumber
BIS	Balai Riset Budidaya Ikan Hias, Depok, Jawa Barat, Indonesia	Fermentasi anaerobik menggunakan air dengan perbandingan 1:2 (BIS:air), selama 7 hari	Telur langsung ditetaskan pada wadah berisi 3 kg BIS terfermentasi, lalu dikembangbiakkan selama 25 hari	N/A	25	Panjang: 19,9 mm Lebar: 5,5 mm Bobot: 160 mg	27,5	45,87	(Rachmawati et al., 2015)
	Laboratorium Budidaya Perikanan, Politeknik Negeri Lampung, Indonesia	Fermentasi anaerobik menggunakan air dengan perbandingan 1:1,5 (BIS:air), lalu ditambahkan probiotik sebanyak 4%, selama 3 hari	Telur sebanyak 1 gram ditebarkan pada wadah berisi 1 kg BIS terfermentasi, lalu dikembangbiakkan selama 7 hari	N/A	7	Panjang: 15,0 mm	2,34	48,67	(Bokau & Basuki, 2018)
	Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan, Sumatera Utara, Indonesia	Tidak ada	Larva dikembangbiakkan pada wadah berukuran 66,9x46,4x13,4 cm, pemberian pakan 3 hari sekali dengan laju pemberian pakan 75 mg/ekor/hari	N/A	20	Panjang: 21,0 mm Bobot: 197,59 mg	20,91	34,44	(PPKS, 2022)

(continued)

Material	Lokasi Riset	Perlakuan awal ( <i>pre-treatment</i> )	Teknis budidaya	Kondisi lingkungan	Umur panen (hari)	Fisik larva BSF	Lemak (%)	Protein (%)	Sumber
TKKS	IRD-BRBIH (Balai Riset Budidaya Ikan Hias), Depok, Jawa Barat, Indonesia	Fermentasi anaerobik menggunakan <i>Trichoderma</i> sp. sebanyak 10 g untuk setiap 500 g TKKS	5 g larva berumur 7 hari dikembangkan pada wadah yang berisi 500 g TKKS terfermentasi selama 14 hari	T: 27-34°C	21	Panjang: 19,6 mm Bobot: 133 mg	36,41	35,4	(Mujahid, et al., 2017)
	Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan, Sumatera Utara, Indonesia	Pencacahan TKKS hingga berukuran 0,5-10 mm	Larva dikembangkan pada wadah berukuran 66,9x46,4x13,4 cm, pemberian pakan 3 hari sekali dengan laju pemberian pakan 75 mg/ekor/hari	N/A	40	Panjang: 8,7 mm Bobot: 12,28 mg	3,48	23,39	(PPKS, 2022)
Limbah makanan	University of Hawai'i at Mānoa, Honolulu, HI USA	Tidak ada	Larva dikembangkan pada reaktor khusus yang memungkinkan prepupa melakukan self-harvesting	N/A	N/A	N/A	31,8	43,7	(Surendra et al., 2016)

(continued)

Material Organik	Lokasi Riset	Perlakuan awal ( <i>pre-treatment</i> )	Teknis budidaya	Kondisi lingkungan	Umur panen (hari)	Fisik larva BSF	Lemak (%)	Protein (%)	Sumber
Pakan ayam	Department of Crop Protection, Faculty of Bioscience Engineering, Ghent, Belgium	Tidak ada	1000 ekor larva berumur 6-8 hari setelah menetas dikembangbiakkan pada wadah yang berisi 600 g pakan dengan kadar air sekitar 70%	T: 27 °C, RH: 65%	20	Bobot: 219,8 mg	33,6	41,2	(Sprangers et al., 2017)

Ket: N/A: Tidak dijelaskan oleh peneliti pada jurnal penelitiannya



perlakuan awal terhadap bahan baku, dan dihasilkan larva BSF dengan kandungan lemak 70,07%, protein 22,30%, dan bobot rata-rata 6,56 mg/ekor (Jing Lim et al., 2022). Begitu juga pada bahan baku BIS, Rachmawati et al. (2015) melakukan fermentasi anaerobik pada BIS selama 7 hari, sehingga pada proses biokonversi menghasilkan larva BSF dengan bobot rata-rata 160 mg/ekor dan memiliki kandungan lemak sebesar 27,5%, serta protein 45,87%. Namun pada penelitian yang dilakukan oleh PPKS (2022), diketahui bahwa pada larva BSF yang diberi pakan BIS tanpa pengolahan awal, tetap mampu menghasilkan larva BSF yang cukup baik dengan kandungan lemak dan protein yang sedikit turun menjadi 20,91% dan 34,44%, dengan bobot rata-rata 197,59 mg/ekor.

#### KOMPOSISI MINYAK DAN PROTEIN LARVA BSF

Larva BSF memiliki kandungan lemak dan protein yang tinggi berkisar antara 15-70% dan 37-63% (Queiroz et al., 2021; Jing Lim et al., 2018). Berdasarkan hasil penelitian Gold, Tomberlin, Diener, Zurbrugg, & Mathys (2018), pada pencernaan larva BSF memiliki sejumlah enzim dan bakteri yang dapat menghidrolisis lemak, protein, pati, dan selulosa pada pakan yang dikonsumsi. Pakan yang masuk ke dalam sistem pencernaan larva BSF dalam bentuk makronutrien akan dipecah menjadi molekul yang lebih kecil, sehingga lemak dapat direduksi menjadi gliserida dan asam lemak, protein menjadi asam amino dan peptida, serta karbohidrat menjadi gula sederhana yang lebih mudah diserap oleh tubuh larva BSF (Gold, et al., 2018).

#### Komposisi minyak larva BSF

Minyak pada larva BSF merupakan kombinasi antara asam lemak jenuh dan asam lemak tak jenuh (Franco et al., 2021). Penelitian yang dilakukan oleh Surendra et al. (2016), Ushakova et al. (2016), Jing Lim et al. (2022), dan PPKS (2022) pada larva BSF yang diberi pakan limbah makanan, gandum, POSD, BIS dan TKKS menghasilkan konsentrasi asam lemak jenuh rantai menengah (asam laurat, C12:0—asam palmitat, C16:0) yang sangat tinggi berkisar antara 52-78% dari total asam lemak (Tabel 2).

Konsentrasi asam lemak jenuh rantai menengah pada larva BSF jauh lebih tinggi apabila dibandingkan dengan konsentrasi yang terkandung dalam minyak sawit mentah (*crude palm oil*, CPO), minyak goreng sawit (*refined bleached deodorized palm oil*, RBDPO), dan minyak kedelai (soybean oil, SBO) yang hanya berkisar antara 11-44% dari total asam lemak. Bahkan pada minyak inti sawit (*palm kernel oil*, PKO) yang telah banyak diketahui sebagai salah satu sumber utama penghasil asam lemak jenuh rantai menengah terbanyak, konsentrasi kandungannya hanya mencapai 70% dari total asam lemak.

Selain itu, konsentrasi asam lemak tak jenuh pada minyak BSF pun jauh lebih rendah berkisar antara 24-36% apabila dibandingkan dengan CPO, RBDPO, SBO dan PKO yang memiliki konsentrasi berkisar antara 18-85% dari total asam lemak (Sujadi, Hasibuan, Rahmadi, & Purba, 2016; PPKS, 2020; Gerde et al., 2020).

Pada pemanfaatan minyak BSF sebagai biodiesel, Surendra et al. (2016) menjelaskan bahwa karakteristik minyak BSF memiliki banyak keunggulan apabila dibandingkan dengan RBDPO, SBO, dan minyak bunga matahari yang saat ini umum digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Secara umum, konsentrasi asam lemak jenuh rantai panjang yang tinggi dalam substrat memberikan pengaruh sifat aliran dingin (*cold flow*) yang buruk pada biodiesel, karena mengakibatkan titik penyumbatan dingin (*cold plugging point*) yang rendah. Selain itu, biodiesel yang berasal dari minyak dengan konsentrasi asam lemak tak jenuh yang tinggi memiliki stabilitas oksidatif yang buruk dan mengakibatkan rendahnya daya simpan dari produk akhir biodiesel. Dengan demikian, konsentrasi asam lemak jenuh rantai menengah yang relatif tinggi dan konsentrasi asam lemak tak jenuh yang rendah membuat minyak BSF sangat berpotensi sebagai substrat yang ideal untuk memproduksi biodiesel berkualitas tinggi dengan viskositas yang lebih rendah dan stabilitas oksidatif yang lebih tinggi. Selain itu, Li et al. (2011) menyebutkan bahwa hasil evaluasi biodiesel berbahan dasar minyak BSF, pada parameter densitas, viskositas, titik nyala, dan angka setana berada dalam kisaran yang direkomendasikan untuk menjadi biodiesel berstandar internasional.



Tabel 2. Komposisi asam lemak pada minyak larva BSF, CPO, RBDPO, SBO, dan PKO

Uraian	Minyak BSF berbasis limbah makanan (Surendra et al., 2016)	Minyak BSF berbasis gandum (Ushakova et al., 2016)	Minyak BSF berbasis POSD (Jing Lim et al., 2022)	Minyak BSF berbasis BIS (PPKS, 2022)	Minyak BSF berbasis TKKS (PPKS, 2022)	CPO (PPKS, 2020)	RBDPO (PPKS, 2020)	SBO (Gerde et al., 2020)	PKO (Sujadi et al., 2016)
C10:0, %	N/A	N/A	0,88	1,44	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C12:0, %	44,9	38,43	40,98	46,52	18,05	0,19	0,22	N/A	45,7
C14:0, %	8,3	12,44	8,68	13,81	5,67	0,79	0,93	0,04	15,6
C14:1, %	N/A	0,19	0,34	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C15:0, %	N/A	0,35	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C16:0, %	13,5	0,37	22,51	15,95	33,77	42,62	37,8	10,57	8,4
C16:1, %	2,3	18,76	2,4	2,26	N/A	0,12	0,17	0,02	N/A
C17:0, %	N/A	0,47	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C17:1, %	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
C18:0, %	2,1	2,95	2,43	1,67	6,72	3,86	3,48	4,09	1,9
C18:1, %	12	8,81	17,46	14,95	25,95	41,37	46,11	22,98	15,6
C18:2, %	9,9	0,23	4,31	3,14	9,83	10,45	10,62	54,51	2,5
C18:3, %	0,1	N/A	N/A	0,08	N/A	0,23	0,2	7,23	0,1
C20:0, %	N/A	0,09	N/A	0,17	N/A	0,29	0,33	0,33	0,1
C20:1, %	N/A	N/A	N/A	0,04	N/A	0,08	0,14	0,18	N/A
C22:0, %	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0,25	N/A
C24:0, %	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0,1	N/A

Ket: N/A: Tidak dijelaskan oleh peneliti pada jurnal penelitiannya

#### Komposisi protein larva BSF

Sebagai alternatif sumber protein pada pakan ternak, Queiroz et al., (2021) mengatakan bahwa tepung BSF mengandung komposisi asam amino esensial (AAE) yang lebih unggul dibandingkan dengan AAE pada tepung ikan dan tepung kedelai untuk jenis treonin, metionin, valin, histidin, lisin,

leusin, fenilalanin, dan isoleusin (Tabel 3). Jumlah AAE tersebut memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh *World Health Organization* (WHO), yakni minimal 27,7% atau setara 277 mg/g. Pada hewan ternak isoleusin, leusin, dan valin berperan penting dalam pembentukan massa otot, mencegah proteolisis, dan menjaga kekebalan tubuh (Kim et al., 2022).

Tabel 3. Komposisi asam amino pada minyak tepung larva BSF, tepung ikan, dan tepung kedelai

Uraian	Tepung BSF berbasis limbah makanan) (Surendra et al., 2016)	Tepung BSF berbasis campuran limbah organik (Queiroz et al., 2021)	Tepung Ikan (Surendra et al., 2016)	Tepung Kedelai (Surendra et al., 2016)
<b>Asam Amino Esensial</b>				
Arginin, %	3,25 $\pm$ 0,03	2,09	3,84 $\pm$ 0,48	3,17 $\pm$ 0,19
Histidin, %	2,13 $\pm$ 0,08	2,36	1,44 $\pm$ 0,29	1,26 $\pm$ 0,14
Isoleusin, %	2,37 $\pm$ 0,02	6,48	2,56 $\pm$ 0,31	1,96 $\pm$ 0,19
Leusin, %	3,68 $\pm$ 0,03	7,89	4,47 $\pm$ 0,50	3,43 $\pm$ 0,26
Lisin, %	3,23 $\pm$ 0,10	4,71	4,56 $\pm$ 0,90	2,76 $\pm$ 0,24
Metionin, %	1,04 $\pm$ 0,03	1,81	1,73 $\pm$ 0,45	0,60 $\pm$ 0,06
Fenilalanin, %	2,27 $\pm$ 0,03	4,48	2,47 $\pm$ 0,22	2,26 $\pm$ 0,16
Treonin, %	2,15 $\pm$ 0,02	2,17	2,58 $\pm$ 0,33	1,76 $\pm$ 0,13
Triptofan, %	N/A	N/A	0,63 $\pm$ 0,10	0,59 $\pm$ 0,26
Valin, %	3,68 $\pm$ 0,11	7,89	3,06 $\pm$ 0,45	1,93 $\pm$ 0,35
<b>Asam Amino Non-Esensial</b>				
Alanin, %	3,85 $\pm$ 0,09	6,74	3,93 $\pm$ 0,54	1,92 $\pm$ 0,18
Aspargin	4,16 $\pm$ 0,08	N/A	5,41 $\pm$ 1,18	4,88 $\pm$ 0,73
Sistein, %	1,60 $\pm$ 0,07	N/A	0,61 $\pm$ 0,20	0,68 $\pm$ 0,20
Glutamin, %	4,48 $\pm$ 0,09	N/A	7,88 $\pm$ 1,18	7,87 $\pm$ 1,15
Glisin, %	3,70 $\pm$ 0,17	4,48	4,71 $\pm$ 0,98	1,89 $\pm$ 0,20
Prolin, %	3,20 $\pm$ 0,07	6,52	2,89 $\pm$ 1,07	2,43 $\pm$ 0,46
Serin, %	2,21 $\pm$ 0,03	2,68	2,43 $\pm$ 0,59	2,14 $\pm$ 0,28
Tirosin, %	3,49 $\pm$ 0,03	4,63	1,88 $\pm$ 0,38	1,55 $\pm$ 0,21
<b>Total Asam Amino Esensial %,</b>	23,79 $\pm$ 0,17	42,42	N/A	N/A
<b>Total Asam Amino Non Esensial, %</b>	26,70 $\pm$ 0,44	37,88	N/A	N/A
<b>Total Asam Amino, %</b>	50,49 $\pm$ 0,49	80,3	N/A	N/A

Ket: N/A: Tidak dijelaskan oleh peneliti pada jurnal penelitiannya

## EKSTRAKSI MINYAK DAN PROTEIN BSF

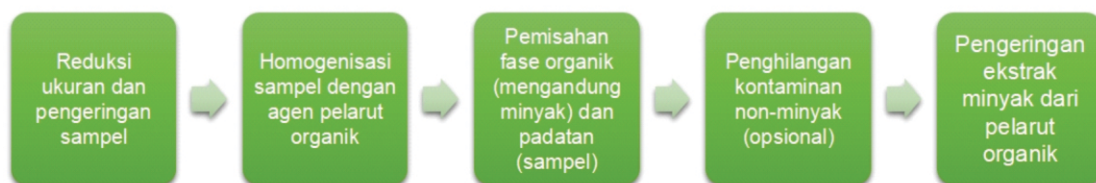
Secara umum ekstraksi minyak dan protein pada BSF merupakan satu rangkaian proses yang berkesinambungan. Pada Gambar 4 dijelaskan bahwa

protein merupakan salah satu produk samping yang dihasilkan dari proses produksi minyak, atau juga bisa dibahasakan bahwa minyak adalah salah satu produk samping pada saat memproduksi protein.



Gambar 4. Alur produksi minyak dan protein pada BSF. Sumber: Huang et al. (2018), Mintah et al. (2020), Queiroz et al. (2021), dan Zozo, Wicht, Mshayisa, & van Wyk (2022)

## Ekstraksi minyak BSF



Gambar 5. Prosedur ekstraksi minyak larva BSF. Sumber: Franco et al. (2021)

Menurut Franco et al. (2021), prosedur untuk mengekstrak minyak dari hewan ataupun tumbuhan meliputi beberapa langkah seperti pada Gambar 5. Pada langkah awal, reduksi ukuran sampel bertujuan untuk meningkatkan luas permukaan sampel, sehingga interaksi antara sampel dengan agen pelarut organik bisa berlangsung dengan lebih baik dan

menghasilkan hasil ekstraksi yang lebih tinggi (Mohamad, Ali, Ripin, & Ahmad, 2013).

Umumnya ekstraksi minyak pada BSF dilakukan dengan metode ekstraksi secara kimiawi menggunakan bantuan agen pelarut organik (*solvent extraction*). Agen pelarut organik yang digunakan harus memiliki sifat kelarutan yang tinggi terhadap

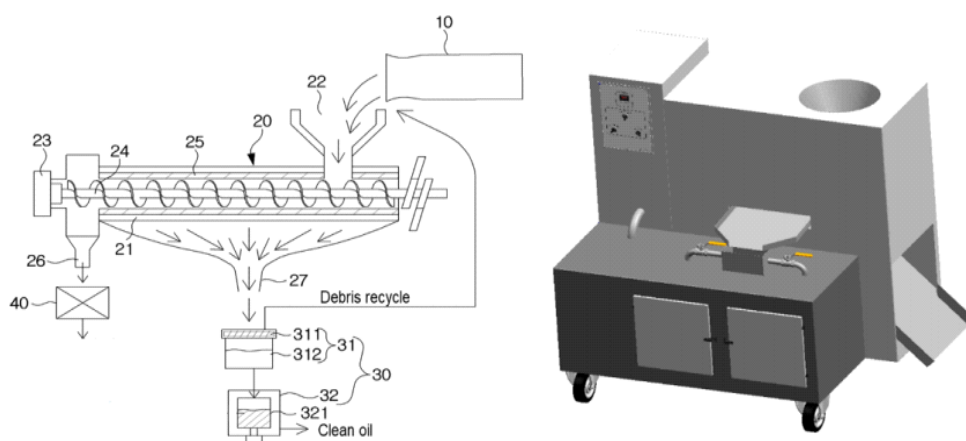
senyawa lipid, namun memiliki kelarutan yang rendah terhadap asam amino, protein dan karbohidrat. Selain itu, agen pelarut organik yang digunakan pun harus memiliki titik didih yang lebih rendah agar mudah menguap saat dipisahkan dengan sampel. Pada saat proses ekstraksi, agen pelarut organik juga berperan dalam menonaktifkan aktivitas enzim, sehingga mencegah reaksi lain yang tidak diinginkan. Beberapa agen pelarut organik yang umum digunakan adalah alkohol (seperti etanol, metanol, dan n-butanol), asetonitril, aseton, hidrokarbon terhalogenasi (seperti kloroform dan diklorometana), eter, atau hidrokarbon (seperti benzena dan heksana) (Christie, 1982).

Pada penelitian yang dilakukan Nguyen et al. (2017), proses ekstraksi minyak larva BSF dilakukan menggunakan *Soxhlet extractor* dengan bantuan agen pelarut organik berupa heksana, lalu minyak BSF yang sudah diekstrak dikeringkan dengan menggunakan *rotary evaporator*. Pada penelitian Li et al. (2011), petroleum eter digunakan sebagai agen pelarut organik pada teknik ekstraksi maserasi, kemudian ekstrak minyak larva BSF dikeringkan dengan menggunakan *rotary evaporator*. Begitupun pada teknik ekstraksi menggunakan agitator, Jing Lim et al. (2022) menggunakan petroleum eter sebagai agen pelarut organik dan selanjutnya minyak BSF yang sudah

diekstrak dikeringkan dengan menggunakan oven.

Selain metode kimiawi, metode ekstraksi minyak larva BSF secara fisik saat ini mulai banyak dikembangkan. Ekstraksi secara fisik bertujuan untuk menurunkan biaya produksi dan mengurangi penggunaan bahan kimia berlebih yang berpotensi menyisakan residu berbahaya pada minyak larva BSF apabila diaplikasikan pada hewan ataupun manusia (Lee, Yun, & Goo, 2021). Surendra et al. (2016) melakukan ekstraksi minyak BSF secara fisik pada prepupa BSF kering (>23 hari) menggunakan mesin *Taby Press Type-20*, namun hanya menghasilkan rendemen minyak BSF sebesar 15-20%. Hal ini dijelaskan karena mesin yang digunakan telah dirancang khusus untuk mengekstrak minyak yang bersumber dari bahan nabati, bukan dari bahan seperti biomassa serangga.

Pada tahun 2021, Lee et al. merancang alat ekstraksi minyak BSF khusus yang diberi nama *expeller press* dan dapat diaplikasikan pada skala industri (Gambar 6). Pada uji coba alat tersebut, diketahui bahwa ekstraksi minyak BSF secara fisik menghasilkan rendemen yang lebih banyak (37,23%), dibandingkan dengan ekstraksi kimiawi menggunakan agen pelarut organik heksana (26,97%).



Gambar 6. Diagram skematik dan desain 3D ekstraktor minyak BSF, (10) pemanasan awal, (20) daerah ekstraksi, (21) kerangka mesin, (22) input larva, (23) rotor penggerak, (24) sekrup putar, (25) batang kompresi, (26) outlet residu atau frass, (27) outlet minyak, (30) bagian pemurnian minyak, (31) rangkaian filter primer, (32) rangkaian filter sekunder, (311) jaring filter, (312) pengumpul minyak, (321) filter performa tinggi, (40) penggiling frass. Sumber: Lee et al. (2021)

Pada penggunaan mesin *expeller press*, suhu yang digunakan selama proses mencapai 120°C. Penggunaan suhu yang cukup tinggi pada alat tersebut telah dikonfirmasi berada pada rentang suhu yang belum merusak protein pada biomassa BSF, sehingga metode ini dapat diadaptasi untuk memproduksi minyak dan protein BSF secara bersamaan. Berdasarkan hasil *differential scanning calorimeter* (DSC) pada penelitian Huang et al. (2018), Queiroz et al. (2021), dan Zozo et al. (2022), diketahui bahwa biomassa BSF yang dipanaskan pada suhu 42-150 °C akan mengalami dekomposisi pertama berupa kehilangan air bebas dan air terikat, kemudian pada suhu 150-420°C dekomposisi kedua terjadi (*unfolding*) berupa penguapan protein dan karbohidrat, lalu terakhir dekomposisi ketiga (*solid-melting*) berupa hancurnya polipeptida secara total yang terjadi pada suhu 450-550°C.

#### Ekstraksi protein BSF

Biomassa BSF yang sudah dihilangkan minyaknya disebut dengan tepung BSF (*BSF flour*). Tepung BSF yang akan dimanfaatkan proteinnya secara murni akan diproses lebih lanjut pada prosedur ekstraksi protein. Pada penelitian Queiroz et al., (2021), tepung BSF yang sudah terpisah dari minyaknya kemudian direndam menggunakan 0,25 M NaOH dengan rasio 1:15 (tepung BSF:NaOH, m/v), lalu diagitasi dengan kecepatan 300 rpm pada suhu 40°C selama 1 jam, kemudian disentrifugasi pada 2493 × g pada suhu 4°C selama 20 menit. Fraksi berat (pelet) yang terbentuk dipisahkan dengan fraksi ringan (supernatan) untuk kemudian diekstraksi kembali dengan langkah yang sama, mulai dari perendaman NaOH hingga tahap sentrifugasi. Pelet yang tersisa disimpan sebagai ekstrak kitin BSF kasar. Supernatan yang terbentuk dari kedua ekstraksi kemudian digabungkan dan disesuaikan pH nya hingga mencapai titik isoelektrik (pH 4,3-4,8) dengan menambahkan 2 M HCl untuk mengendapkan protein. Setelah terjadi pemisahan, larutan disentrifugasi pada 1272 × g pada suhu 4°C selama 15 menit untuk meningkatkan jumlah endapan. Endapan kemudian dipisahkan dengan fase cairnya dan dicuci dua kali menggunakan air suling dan dikeringkan semalaman. Endapan yang sudah kering disebut dengan protein BSF. Hasil dari penelitian tersebut diperoleh rendemen protein sebesar 61,10%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Mintah et al.

(2020), dilakukan optimalisasi pada prosedur ekstraksi protein dengan memodifikasi beberapa bagian yaitu rasio larutan alkali terhadap sampel, suhu ekstraksi, dan durasi ekstraksi. Pada penelitian tersebut disampaikan bahwa rendemen protein tertinggi mencapai 80,42% yang didapat dengan memodifikasi rasio larutan alkali terhadap sampel menjadi 24,85:1, suhu ekstraksi menjadi 52,23°C, dan durasi ekstraksi menjadi 59,43 menit. Sementara itu, pada perlakuan kontrolnya rendemen protein yang diperoleh hanya mencapai 76,91%, dengan rasio larutan alkali terhadap sampel 5:1, suhu ekstraksi 40°C, dan durasi ekstraksi 60 menit.

#### KESIMPULAN

Teknologi biokonversi produk samping industri kelapa sawit oleh BSF dapat menjadi terobosan dalam mengurangi angka cemaran terhadap lingkungan. Sistem pengelolaan yang terintegrasi dengan produksi minyak dan protein BSF, dapat meningkatkan daya guna dari produk samping industri kelapa sawit. Berbagai produk turunan dari minyak dan protein BSF memiliki nilai jual lebih tinggi, seperti bahan bakar, pakan ternak ataupun pupuk hayati. Namun tidak seperti protein BSF, di Indonesia pemanfaatan minyak BSF berbasis produk samping industri kelapa sawit belum banyak dikembangkan, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait teknis budidaya dan pengolahan hasilnya. Pada akhirnya, besar harapan teknologi biokonversi oleh BSF ini dapat menjadi langkah sinergis dalam kemajuan hilirisasi kelapa sawit Indonesia.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bampidis, V., & Christodoulou, V. (2011). Chickpeas (*Cicer arietinum* L.) in animal nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 168(1–2), 1–20.  
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.098>
- Bokau, R. J., & Basuki, T. P. (2018). *Bungkil inti sawit sebagai media biokonversi produksi massal larva maggot dan uji respon pemberian pada ikan Nila (Oreochromis niloticus)*. Paper presented at the Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Teknologi Pertanian

- Bovera, F., Loponte, R., Pero, M. E., Cutrignelli, M. I., Calabrò, S., Musco, N., Vassalotti, G., Panettieri, V., Lombardi, P., Piccolo, G., Di Meo, C., Siddi, G., Fliegerova, K., & Moniello, G. (2018). Laying performance, blood profiles, nutrient digestibility and inner organs traits of hens fed an insect meal from *Hermetia illucens* larvae. *Research in Veterinary Science*, 120, 86-93.  
<https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.09.006>
- Chia, S. Y., Tanga, C. M., Khamis, F. M., Mohamed, S. A., Salifu, D., Sevgan, S., M. Fiaboe, K. K., Niassy, S., Dicke, M., & Ekesi, S. (2018). Threshold temperatures and thermal requirements of black soldier fly *Hermetia illucens*: Implications for mass production. *PLOS ONE*, 13(11), e0206097.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206097>
- Christie, W. W. (1982). *Lipid Analysis: Isolation, Separation, Identification and Structural Analysis of Lipids*. Pergamon.  
<https://doi.org/10.1604/9780080237916>
- Delicato, C., Schouteten, J. J., Dewettinck, K., Gellynck, X., & Tzompa-Sosa, D. A. (2020). Consumers' perception of bakery products with insect fat as partial butter replacement. *Food Quality and Preference*, 79, 103755.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103755>
- Dewayanto, N., Sahad, M. Z., & Nordin, M. (2009). *Waste to valuable by-product: Palm oil mill decanter cake and its ability to remove Cd, Cu and Pb ions*. Conference: The 4th International Conference on Recent Advances in Materials, Minerals & Environment and 2nd Asian Symposium on Materials & Processing
- Diener, S., Zurbrugg, C., & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research*.  
<https://doi.org/10.1177/0734242X09103838>
- Franco, A., Scieuzo, C., Salvia, R., Petrone, A. M., Tafi, E., Moretta, A., Schmitt, E., & Falabella, P. (2021). Lipids from *Hermetia illucens*, an Innovative and Sustainable Source. *Sustainability*, 13(18), 10198.  
<https://doi.org/10.3390/su131810198>
- Gerde, J. A., Hammond, E. G., Johnson, L. A., Su, C., Wang, T., & White, P. J. (2020). Soybean Oil. In *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*.  
<https://doi.org/10.1002/047167849x.bio041.pu b2>
- Gold, M., Tomberlin, J. K., Diener, S., Zurbrugg, C., & Mathys, A. (2018). Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. *Waste Management*, 82, 302-318.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.022>
- Holmes, L. A., Vanlaerhoven, S. L., Tomberlin, J. K. (2012). Relative humidity effects on the life history of *hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environ Entomol* 41:971-978.  
<https://doi.org/10.1603/en12054>
- Huang, C., Feng, W., Xiong, J., Wang, T., Wang, W., Wang, C., & Yang, F. (2018). 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(1), 11-21.  
<https://doi.org/10.1007/s00217-018-3136-y>
- Jayanthi, S., Khairani, R., Herika, Muhammad A., & Rafiqah. (2017). Teknik Budidaya Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). *Jurnal Jeumpa*, 4(1)-Juni 2017: 58-66
- Jing Lim, J., Seng Liew, C., Raksasat, R., Merican, Z. M., Kiatkittipong, K., Alaaeldin Abdelfattah, E., Mohamad, M., Bashir, M. J., Karabo Obed Ntwampe, S., & Lim, J. W. (2022). Cellulase pretreated palm decanter cake for feeding of black soldier fly larvae in triggering bioaccumulation of protein and lipid into biodiesel productions. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53, 102485.  
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102485>
- Kim, W. K., Singh, A. K., Wang, J., & Applegate, T. (2022). Functional role of branched chain amino acids in poultry: A review. *Poultry Science*, 101(5).  
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101715>
- Kusumah, M. S., Arifani, R., Sholifiany, D., & Samosir, P. J. (2016). Pengembangbiakan *Black Soldier*



- Fly, *Hermetia Illucens* L. (Diptera: Stratiomyide) sebagai Sumber Nutrisi Pakan Ikan. Data tidak dipublikasikan
- Lee, K. S., Yun, E. Y., & Goo, T. W. (2021). Optimization of Feed Components to Improve *Hermetia illucens* Growth and Development of Oil Extractor to Produce Biodiesel. *Animals*, 11(9), 2573.  
<https://doi.org/10.3390/ani11092573>
- Leela, D., & Nur, S. (2019). Processing technology POME-pond in Indonesia: A mini-review. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 365:1-8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/365/1/012009>.
- Li, Q., Zheng, L., Cai, H., Garza, E., Yu, Z., & Zhou, S. (2011). From organic waste to biodiesel: Black soldier fly, *Hermetia illucens*, makes it feasible. *F u e l*, 90(4), 1545-1548. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.11.016>
- Loponte, R., Nizza, S., Bovera, F., De Riu, N., Fliegerova, K., Lombardi, P., Vassalotti, G., Mastellone, V., Nizza, A., & Moniello, G. (2017). Growth performance, blood profiles and carcass traits of Barbary partridge (*Alectoris barbara*) fed two different insect larvae meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*). *Research in Veterinary Science*, 115, 183-188. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2017.04.017>
- Mintah, B. K., He, R., Agyekum, A. A., Dabbour, M., Golly, M. K., & Ma, H. (2020). Edible insect protein for food applications: Extraction, composition, and functional properties. *Journal of Food Process Engineering*, 43(4). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13362>
- Mohamad, M., Ali, M. W., Ripin, A., & Ahmad, A. (2013). Effect of Extraction Process Parameters on the Yield of Bioactive Compounds from the Roots of *Eurycoma Longifolia*. *Jurnal Teknologi*, 60(1), 51â 57. <https://doi.org/10.11113/jt.v60.1441>
- Mujahid, M., Amin, A. A., Hariyadi, H., & Fahmi, M. R. (2017). Oil palm empty bunches bioconversion using *Trichoderma* sp. and Black Soldier fly larvae as poultry feed composition. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*, 5(1), 5-10.
- Murawska, D., Daszkiewicz, T., Sobotka, W., Gesek, M., Witkowska, D., Matusevičius, P., & Bakula, T. (2021). Partial and Total Replacement of Soybean Meal with Full-Fat Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) Larvae Meal in Broiler Chicken Diets: Impact on Growth Performance, Carcass Quality and Meat Quality. *Animals*, 11(9), 2715.  
<https://doi.org/10.3390/ani11092715>
- Nakamura, S., Ichiki, R. T., Shimoda, M., Morioka, S. (2016). Small-scale rearing of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), in the laboratory: low-cost and year-round rearing. *Appl Entomol Zool* 51:161–166. <https://doi.org/10.1007/s13355-015-0376-1>
- Nguyen, H. C., Liang, S., Doan, T. T., Su, C., & Yang, P. (2017). Lipase-catalyzed synthesis of biodiesel from black soldier fly (*Hermetica illucens*): Optimization by using response surface methodology. *Energy Conversion and Management*, 145, 335-342. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.05.010>
- Oonincx, D. G. A. B., Volk N., Diehl, J. J. E., van Loon, J. J. A., Belusič, G. (2016). Photoreceptor spectral sensitivity of the compound eyes of black soldier fly (*Hermetia illucens*) informing the design of LED-based illumination to enhance indoor reproduction. *J Insect Physiol* 95 : 133 – 139. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2016.10.006>
- Pérez-Pacheco, R., Hinojosa-Garro, D., Ruíz-Ortiz, F., Camacho-Chab, J. C., Ortega-Morales, B. O., Alonso-Hernández, N., ... & Granados-Echegoyen, C. A. (2022). Growth of the black soldier fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) on organic-waste residues and its application as supplementary diet for Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* (Perciformes: Cichlidae). *Insects*, 13(4), 326.
- Purkayastha, D. & Sarkar, S. (2022). Sustainable waste management using black soldier fy larva: a review. *International Journal of Environmental Science and Technology* 19:12701–12726. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03524-7>
- Pusat penelitian Kelapa Sawit (PPKS). (2020). Analisa Asam Lemak CPO dan RBDPO. Data tidak



- dipublikasikan
- Pusat penelitian Kelapa Sawit (PPKS). (2022). Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Bungkil Inti Sawit sebagai Pakan *Black Soldier Fly*. Data tidak dipublikasikan
- Queiroz, L. S., Regnard, M., Jessen, F., Mohammadifar, M. A., Sloth, J. J., Petersen, H. O., Ajallouei, F., Brouzes, C. M. C., Fraihi, W., Fallquist, H., de Carvalho, A. F., & Casanova, F. (2021). Physico-chemical and colloidal properties of protein extracted from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *International Journal of Biological Macromolecules*, 186, 714-723. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.081>
- Rachmawati, R., Buchori, D., Hidayat, P., Hem, S., & Fahmi, M. R. (2015). Perkembangan dan Kandungan Nutrisi Larva *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) pada Bungkil Kelapa Sawit. *Jurnal Entomologi Indonesia*, 7(1), 28. <https://doi.org/10.5994/jei.7.1.28>
- Sasmita, K. D., Rokmah, D. N., Sakiroh, Hafif, B., & Putra, S. (2022). The Effect of Biofertilizer from Waste Bioconversion on The Growth of Cocoa Seedlings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1038. 012008. 10.1088/1755-1315/1038/1/012008.
- Shumo, M., Khamis, F. M., Tanga, C. M., Fiaboe, K. K., Subramanian, S., Ekesi, S., van Huis, A., & Borgemeister, C. (2019). Influence of Temperature on Selected Life-History Traits of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Reared on Two Common Urban Organic Waste Streams in Kenya. *Animals*, 9(3), 79. <https://doi.org/10.3390/ani9030079>
- Sinansari, S., & Fahmi, M. R. (2020). *Black soldier fly larvae as nutrient-rich diets for ornamental fish*. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 493, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
- Smetana, S., Leonhardt, L., Kauppi, S., Pajic, A., & Heinz, V. (2020). Insect margarine: Processing, sustainability and design. *Journal of Cleaner Production*, 264, 121670. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121670>
- Soetemans, L., Uyttebroek, M., Bastiaens, L., (2020). Characteristics of chitin extracted from black soldier fly in different life stages. *International Journal of Biological Macromolecules* 165 (2020) 3206–3214. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.041>
- Sprangers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Olyn, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., ... & De Smet, S. (2017). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2594-2600.
- Stichnothe, H., & Schuchardt, F. (2011). Life cycle assessment of two palm oil production systems. *Biomass and Bioenergy*, 35(9), 3976-3984. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.001>
- Sujadi, S., Hasibuan, H. A., Rahmadi, H. Y., & Purba, A. R. (2016). Komposisi Asam Lemak dan Bilangan Iod Minyak dari Sembilan Varietas Kelapa Sawit DxP Komersial di PPKS. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 24(1), 1–11. <https://doi.org/10.22302/iopri.jur.jpks.v24i1.1>
- Surendra, K., Olivier, R., Tomberlin, J. K., Jha, R., & Khanal, S. K. (2016). Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*, 98, 197-202. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.022>
- Ushakova, N. A., Brodskii, E. S., Kovalenko, A. A., Bastrakov, A. I., Kozlova, A. A., & Pavlov, D. S. (2016). Characteristics of lipid fractions of larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens*. In *Doklady biochemistry and biophysics* (Vol. 468, pp. 209-212). Pleiades Publ.
- Were, G. J., Irungu, F. G., Ngoda, P. N., Affognon, H., Ekesi, S., Nakimbugwe, D., ... & Mutungi, C. M. (2022). Nutritional and microbial quality of extruded fish feeds containing black soldier fly (*Hermetia illucens* L) larvae meal as a replacement for fish meal for Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) and African sharp-tooth catfish (*Clarias gariepinus*). *Journal of Applied Aquaculture*, 34(4), 1036-1052.
- Widjaja, E., & Utomo, B. N. (2021). Solid palm oil as poultry feed and growth media of Black Soldier Fly (BSF) larvae. *E3S Web of Conferences*, 306, 05018.

- <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130605018>
- Zhang, J., Huang L., He J., Tomberlin, J.K., Li, J., Lei, C., ... Yu, Z. (2010). An artificial light source influences mating and oviposition of black soldier flies, *Hermetia illucens*. *J Insect Sci* 10:1–7. <https://doi.org/10.1673/031.010.20201>
- Zheng, L., Hou, Y., Li, W., Yang, S., Li, Q., & Yu, Z. (2012). Biodiesel production from rice straw and restaurant waste employing black soldier fly assisted by microbes. *Energy*, 47(1), 225-229. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.09.006>
- Zozo, B., Wicht, M. M., Mshayisa, V. V., & van Wyk, J. (2022). The Nutritional Quality and Structural Analysis of Black Soldier Fly Larvae Flour before and after Defatting. *Insects*, 13(2), 168. <https://doi.org/10.3390/insects13020168>