



Pengaruh Komposisi Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Bungkil Inti Kelapa Sawit sebagai Pakan Larva Lalat Tentara Hitam (*Hermetia Illucens*) Terhadap Perubahan Kandungan Asam Lemaknya

*The Effect of Oil Palm Empty Fruit Bunch and Kernel Meal Composition as Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia Illucens*) Feedstock on Driving the Changes in Larval Fatty Acids Composition*

Muhammad Edwin Syahputra Lubis¹, Brahmani Dewa Bajra^{2*}, Ilmi Fadhilah Rizki², Manda Edy Mulyono², Bagus Giri Yudanto², dan Frisda Rimbun Panjaitan²

Abstrak Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan bungkil inti sawit (BIS) merupakan produk samping biomassa industri kelapa sawit yang masih terbatas pemanfaatannya. TKKS mengandung lignoselulosa yang sangat tinggi, sedangkan BIS mengandung protein kasar yang relatif tinggi. Kandungan lignoselulosa yang tinggi menyebabkan TKKS menjadi sulit didekomposisi, sedangkan kandungan lignin pada protein kasar BIS memerlukan perlakuan awal untuk diaplikasikan sebagai pakan. *Black Soldier Fly* (BSF, *Hermetia illucens*) merupakan serangga yang mampu mengkonversi lignoselulosa TKKS dan BIS menjadi produk lemak, protein, dan kitin. Produk lemak BSF berpotensi menjadi produk – produk bernilai tinggi, seperti pakan ternak maupun bahan bakar. Namun, pengaruh lignoselulosa dan protein kasar dari TKKS dan BIS sebagai pakan BSF terhadap modulasi asam lemak pada BSF belum diteliti. Riset ini menjelaskan komposisi pakan dengan TKKS sebagai komposisi dominan cenderung meningkatkan komposisi asam laurat pada larva BSF. Inklusi BIS sebagai komposisi dominan pada pakan menunjukkan akumulasi asam lemak n-3 dan menurunkan rasio n-6/n-3 pada lemak BSF. Hasil riset ini mengkonfirmasi bahwa komposisi asam lemak BSF tidak hanya dipengaruhi oleh kandungan asam lemak pakannya, namun juga dipengaruhi oleh pencernaan pakannya. Riset ini menunjukkan potensi BSF sebagai agen konversi

biomassa sawit yang dapat memproduksi asam lemak esensial spesifik.

Kata kunci: Biomassa Sawit, Biokonversi, BSF, Asam Lemak, Nutrisi

Abstract Oil palm empty fruit bunches (OPEFB) and Palm Kernel Meal (PKM) are the most abundant by product in palm oil industry. However, the optimal utilization of both substrate has not yet discovered. This is due to high lignocellulosic content in OPEFB contains high lignocellulose content, on the other hand, PKM contains high crude protein content, High lignocellulose content of OPEFB causes this particular substrate to be hard to decompose, while lignin and crude protein content in PKM requires it to be pretreated prior to utilization. Black Soldier Fly (BSF, *Hermetia illucens*) is a natural bioreactor that is able to convert biomass into high value insect protein, fats, and chitin. BSF fats is highly potential to be used as high valued product, such as animal feed and biofuel. However, research that utilize OPEFB and PKM to modulate BSF fatty acid content during its' vegetative state is scarce. This study shows that inclusion of OPEFB as the dominant composition of the BSF feed modulate the synthesis and accumulation of lauric acid. Whilst the feed with PKM as dominant composition tends to modulate the synthesis of n-3 fatty acid, thus lowering the n-6/n-3 ratio of BSF fats. This research confirm the plasticity of BSF fats fatty acid composition depends on both feed fatty acid composition and digestability. Present study shows the potential of BSF utilization to valorize oil palm biomass into highly valuable specific fats sustainably.

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

Brahmani Dewa Bajra (✉)
Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamsno No. 51 Medan 20158 Indonesia
Email: brahmanidewabajra@iopri.org



Keywords: Oil Palm Biomass, Bioconversion, BSF, Fatty Acids, Nutrition

PENDAHULUAN

Indonesia sebagai salah satu produsen terbesar minyak sawit di dunia menghadapi efek samping dari industrialisasi komoditas tersebut, yakni penumpukan biomassa sampingannya. Sebanyak 21% dari tandan buah segar sawit merupakan biomassa tinggi lignoselulosa berupa TKKS (Almeida Frazão et al., 2010; Razali et al., 2012). Biomassa TKKS merupakan limbah yang sulit diolah karena tingkat dekomposisi dan pencernaan yang rendah akibat tingginya kandungan lignoselulosa (Hau et al., 2020). Sehingga, metode biokonversi yang efektif dan ekonomis diperlukan untuk mengolah biomassa sawit di Indonesia.

BSF adalah organisme yang saat ini menyita perhatian dunia terkait dengan kemampuannya dalam menderivatisasi limbah organik menjadi bahan bernilai tinggi. Beberapa penelitian telah menunjukkan potensi BSF sebagai biokonverter yang dapat menghasilkan lemak berkualitas tinggi. Lemak yang dihasilkan oleh BSF dapat dimanfaatkan untuk pembuatan pakan ternak (Dewi Apri and Komalasari, 2020), kosmetik (Franco et al., 2022), dan bahan obat (Ravi et al., 2020).

Penelitian sebelumnya oleh Schreven et al., (2021) menunjukkan bahwa kandungan asam lemak pada larva BSF secara signifikan dipengaruhi oleh pakan yang diberikan. Ewald et al., (2020) dan Hoc et al., (2020a) dalam risetnya menyatakan bahwa kandungan asam lemak signifikan dalam minyak larva BSF adalah asam laurat. Hal ini mendukung pernyataan bahwa BSF larva memiliki sifat antimikroba yang bermanfaat sebagai pakan ternak, dan bahkan dapat digunakan sebagai bahan kosmeseutikal (Spranghers et al., 2018). Sifat antimikroba sebagai hasil metabolisme internal BSF juga menjadikan BSF sebagai organisme non patogenik dan memiliki sifat ketahanan terhadap mikroba yang tinggi (Spranghers et al., 2018). Tingginya kandungan asam laurat pada minyak BSF juga menjadikannya kandidat bahan bakar yang baik, terutama biodiesel. Kandungan asam laurat yang tinggi sebagai bahan baku biodiesel akan menghasilkan asam lemak metil ester dengan

densitas, viskositas kinetik, daya korosif lempeng tembaga, kestabilan oksidatif, titik keruh yang relatif stabil sesuai dengan standar biodiesel EN 14214 and ASTM 6751, sehingga dapat digunakan untuk keperluan yang lebih luas dan dimana saja (Guil-Guerrero et al., 2020; Leong and Kutty, 2020).

Riset ini bertujuan untuk mengamati dinamika perubahan komposisi asam lemak pada larva BSF yang diberi pakan berupa biomassa sampingan kelapa sawit. Adapun parameter yang diamati adalah dinamika perubahan komposisi asam lemak pada beberapa titik tumbuh larva BSF. Riset ini bertujuan untuk memperoleh konfigurasi komposisi substrat berbasis biomassa sawit untuk produksi minyak BSF bernutrisi dengan asam lemak spesifik.

METODOLOGI

Lokasi Penelitian

TKKS dan BIS diambil dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) dan Pabrik Inti Kelapa Sawit (PIKS) Pabatu, PT Perkebunan Nusantara IV. Pengolahan pakan dan pembesaran larva dilakukan di Laboratorium Hilirisasi Pusat Penelitian Kelapa Sawit Medan. Suhu dan kelembaban ruangan penetasan dan pembesaran diatur agar stabil di suhu $25\pm 3^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban $75\pm 5\%$.

Budidaya Larva BSF

Penetasan, Pembesaran, dan Persiapan larva

Telur BSF ditetaskan di dalam ember gelap, dan larva baru (*neonates*) dipindahkan ke pakan setiap pukul 08.00 pagi. Jumlah *neonates* yang dipindahkan yaitu 0,5 gram atau setara dengan ± 25.000 ekor *neonates* dalam kotak penetasan berukuran $16,5 \times 11 \times 5,5$ cm. Pakan yang diberikan disesuaikan dengan formula pakan *nursery feed* pada Tabel 1. Pakan diberikan dengan ukuran 100 mg/larva/hari dengan asumsi derajat keberhasilan penetasan 80% dan durasi fase awal selama delapan hari (Singh et al., 2021).

Pembesaran larva dimulai dengan pemindahan *neonates* berumur delapan hari ke kotak pembesaran berukuran $61 \times 43 \times 11$ cm sejumlah ± 25.000 larva.

Pengambilan contoh dilakukan dengan menghomogenkan biomassa di dalam kotak penetasan, kemudian mencuplik dari empat titik ujung dan satu titik di tengah, untuk menentukan jumlah larva per bobot sampel biomasanya. Pakan diberikan dengan ukuran 150 mg/larva/hari dengan asumsi *survival rate* 80% dan durasi konsumsi aktif selama 12 hari (Singh *et al.*, 2021).

Larva diambil sebagai sampel pada hari ke-8, 12, 14, 16, dan fase prepupa sebanyak 30 g, kemudian direndam di air panas (100°C) selama 10 detik dan dimasukkan ke air dingin. Larva yang telah dipersiapkan lalu dimasukkan ke dalam *microwave* 1000W dan dipanaskan selama dua menit (Da Silva *et al.*, 2019).

Persiapan Pakan dan Komposisinya

BIS disaring menggunakan saringan 80 mesh. Penggunaan BIS pada riset ini dimanfaatkan sebagai pakan *nursery feed* dan campuran pakan pada setiap perlakuan komposisi pakan. TKKS dikeringkan terlebih dahulu hingga mencapai kadar air $\pm 10\%$, lalu dicincang kasar dan digiling dengan alat *hammer mill* yang dilengkapi saringan dengan bukaan $\varnothing 15$ mm. Kedua jenis pakan dicampur sesuai Tabel 1 dan diatur kadar airnya agar stabil pada $\pm 75\%$. Pengaturan kadar air dilakukan dengan penambahan air secara *ad libitum* pada substrat selama proses pembesaran larva. Komposisi nutrisi pakan (C/N ratio, kandungan protein kasar, NDF, ADF, dan debu (ash)) dianalisa dengan metode SNI 01-0008-1987.

Tabel 1. Perlakuan Pemberian Pakan
Table 1. Treatment Feed Mix

Perlakuan	BIS (%)	TKKS (%)
<i>Nursery Feed</i>	100	0
A	70	30
B	30	70
C	50	50

Analisis Asam Lemak Pakan dan Larva

Analisis asam lemak dilakukan dengan mengekstrak minyak yang terkandung pada pakan dan larva. Ekstraksi dilakukan dengan pelarut heksana. Hasil ekstraksi kemudian diuapkan dengan *rotary evaporator* untuk menguapkan heksana, kemudian dipanaskan pada suhu 105°C selama tiga jam untuk menguapkan air.

Sebanyak 0,05 g sampel minyak ditambahkan NaOH metanolik 0,5 N dalam tabung reaksi tertutup lalu diaduk hingga tercampur rata. Campuran kemudian dipreparasi dengan metode ISO 12966-2:2017 sebelum diinjeksikan ke GC-FID.

Analisis komposisi asam lemak dilakukan dengan menggunakan GC-FID model GC-2030 (Shimadzu, Jepang) yang dilengkapi dengan detektor FID (*Flame Ionization Detector*) dan auto injektor AOC 30i (Shimadzu, Jepang). GC-FID ini dilengkapi dengan kolom Quadrex 007-23 berukuran 60m x 0,32mm ID x

0,25µm. Fase gerak yang digunakan adalah gas N₂ dengan laju alir 1.39 mL/menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Karakteristik Bahan Baku dan Pakan

Tabel 2 menunjukkan kandungan asam lemak pada kedua bahan baku yang digunakan sebagai substrat pada riset ini. Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa asam lemak dominan pada BIS adalah asam laurat (52,056%), diikuti dengan asam miristat (16,715%) dan asam oleat (15,738%). Sementara kandungan asam lemak pada TKKS didominasi oleh asam palmitat (37,650%), diikuti oleh asam oleat (29,769%).

Pengelompokan jenis asam lemak pada bahan baku juga dilakukan dan ditunjukkan pada Tabel 2. Ditunjukkan bahwa kandungan asam lemak jenuh

(Saturated Fatty Acid, SFA) dari BIS lebih tinggi dari TKKS (81,945% dan 60,29% secara berurutan). Sementara TKKS lebih unggul dalam ketersediaan asam lemak tak jenuh rantai ganda (Polyunsaturated Fatty Acids, PUFA) (5,766%) maupun asam lemak tak jenuh rantai tunggal

(Monounsaturated Fatty Acids, MUFA) (30,193%) dibandingkan pada BIS (PUFA: 2.071%; MUFA: 15.738%). Namun tidak ditemui asam lemak n-3 pada kedua pakan sebagai perbandingan terhadap asam lemak n-6 berupa asam linoleat yang terkandung.

Tabel 2. Komposisi Asam Lemak pada BIS dan TKKS
Table 2. Fatty Acid Composition of PKM and OPEFB

Komposisi	BIS		TKKS	
	Mean	SD	Mean	SD
Asam Kaprat (10:0)	2,738	0,108	0,688	0,027
Asam Laurat (12:0)	52,056	1,539	9,216	0,407
Asam Miristat (14:0)	16,715	0,437	3,514	0,053
Asam Palmitat (16:0)	8,342	0,208	37,650	0,770
Asam Palmitoleat (16:1)	-	-	0,425	0,017
Asam Stearat (18:0)	2,032	0,090	8,358	0,127
Asam Oleat (18:1)	15,738	0,471	29,769	0,738
Asam Linoleat (18:2) ; n-6 fatty acid	2,071	0,052	5,766	0,143
Asam Linolenat (18:3) ; n-3 fatty acid	-	-	-	-
Asam Arakidat (20:0)	0,062	0,002	0,873	0,023
∑ SFA (Saturate Fatty Acid)	81,945	2,363	60,299	1,380
∑ PUFA (Polyunsaturated Fatty Acid)	2,071	0,052	5,766	0,143
∑ MUFA (Monounsaturated Fatty Acid)	15,738	0,471	30,193	0,754

Results are reported as mean ± SD, n = 3

Tabel 3. Analisis Nutrisi Bahan Baku
Table 3. Nutritional Analysis of Feedstock

Bahan Baku	C (% bobot)	N (% bobot)	C/N	Ash (% bobot)	NDF (%)	ADF (%)	Protein Kasar (%)
BIS	46,59	6,21	7,50	4,80	72,90	44,00	17,57
TKKS	44,1	0,6	73,5	5,8	81,6	53,8	2,38

Tabel 3 menunjukkan kandungan nutrisi dari kedua bahan baku yang menunjukkan bahwa BIS mengandung NDF (Neutral Detergent Fiber) dan ADF (Acid Detergent Fiber) yang lebih rendah dibandingkan

TKKS. Hal ini disebabkan oleh kandungan lignoselulosa dari kedua bahan baku yang dapat mempengaruhi palatabilitas dan daya cerna pakan oleh larva BSF (Palma *et al.*, 2019; Singh *et al.*, 2021).

Tabel 4. Analisis Nutrisi Pakan Setiap Perlakuan
Table 4. Nutritional Analysis of Each Feed Mix

Perlakuan	C (% bobot)	N (% bobot)	C/N	Abu (% bobot)	NDF (% bobot)	ADF (% bobot)	Protein Kasar (% bobot)
A (70% BIS:30% TKKS)	45,84	4,53	27,30	5,10	75,51	46,94	13,01
B (30% BIS:70% TKKS)	44,85	2,28	53,70	5,50	78,99	50,86	6,94
C (50% BIS:50% TKKS)	45,35	3,41	40,50	5,30	77,25	48,90	9,98

Uji nutrisi dari pakan campuran ditunjukkan pada Tabel 4. Kandungan serat (NDF dan ADF) pada pakan perlakuan tidak berbeda secara signifikan sehingga daya cerna larva BSF untuk akumulasi nutrisi tidak dipengaruhi secara signifikan oleh perbedaan

kecernaan pakan. Kurangnya kecernaan pakan dapat mempengaruhi metabolisme larva yang bergantung pada kandungan asam lemaknya untuk mendapatkan nutrisi dan melakukan kegiatan basal (Giannetto *et al.*, 2020).

Tabel 5. Komposisi asam lemak pada setiap pakan
Table 5. Fatty acid composition on each feed

Composition	Nursery Feed		Pakan A		Pakan B		Pakan C	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Asam Kaprat (10:0)	2,703	0,096	2,095	0,054	1,273	0,025	1,702	0,059
Asam Laurat (12:0)	51,371	0,776	39,689	1,754	22,421	1,094	30,274	0,792
Asam Miristat (14:0)	16,659	0,252	13,060	0,577	7,640	0,300	10,225	0,264
Asam Palmitat (16:0)	8,479	0,297	17,134	0,351	29,531	1,299	22,922	0,454
Asam Palmitoleat (16:1)	-	-	0,124	0,001	0,296	0,012	0,209	0,005
Asam Stearat (18:0)	1,992	0,050	3,875	0,039	6,636	0,261	5,302	0,186
Asam Oleat (18:1)	15,947	0,701	20,136	0,706	25,869	1,014	22,851	0,683
Asam Linoleat (18:2) ; n-6 fatty acid	2,071	0,052	3,174	0,065	4,660	0,141	3,948	0,118
Asam Linolenat (18:3) ; n-3 fatty acid	-	-	-	-	-	-	-	-

(continued)

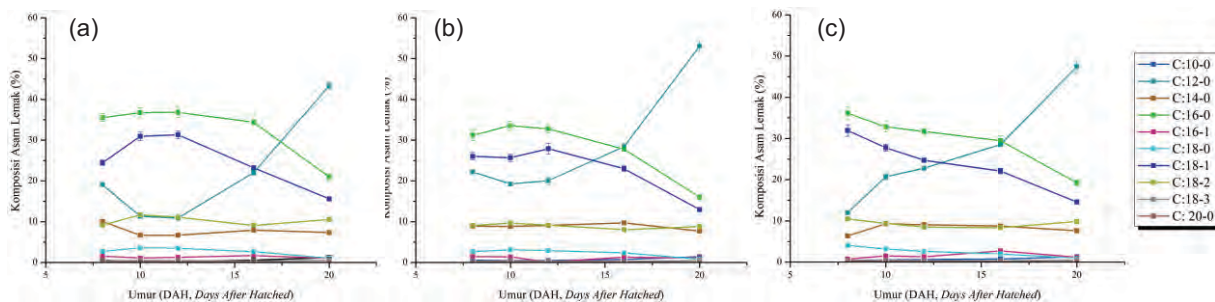
Composition	Nursery Feed		Pakan A		Pakan B		Pakan C	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Asam Arakidat (20:0)	0,061	0,002	0,305	0,010	0,642	0,025	0,462	0,005
∑ SFA (Saturate Fatty Acid)	81,265	1,461	76,159	2,761	68,144	3,001	70,887	1,701
∑ PUFA (Polyunsaturated Fatty Acid)	2,071	0,052	3,174	0,065	4,660	0,141	3,948	0,118
∑ MUFA (Monounsaturated Fatty Acid)	15,947	0,701	20,260	0,707	26,165	1,026	23,061	0,688

Results are reported as mean ± SD, n = 3

Tabel 5 menunjukkan komposisi asam lemak dari setiap pakan perlakuan. *Nursery feed* yang diberikan pada awal penetasan telur merupakan pakan dengan 100% BIS. Pada pakan A yang didominasi oleh BIS, asam lemak dominan adalah asam laurat (39,689%) diikuti dengan asam oleat dan palmitat (20,136% dan 17,134%, secara berurutan). pada pakan B dengan formulasi TKKS dominan mengandung asam palmitat sebesar 29,531%, diikuti oleh asam oleat dan asam

laurat sebesar masing - masing 25,869% dan 22,421%. pada pakan C dimana komposisi BIS dan TKKS seimbang, mengandung asam laurat sebesar 30,274% dengan kandungan asam palmitat dan asam oleat pada substrat ini tidak berbeda secara signifikan, yakni 22,922% dan 22,851%. Ketiga jenis pakan didominasi oleh asam lemak jenuh (A: 76,159%, B: 68,144%, C: 70,887%) dibandingkan dengan asam lemak tidak jenuhnya.

Analisis Kandungan Asam Lemak pada Larva



Gambar 1. Perubahan komposisi asam lemak selama pemberian pakan (a) 70% BIS dan 30% TKKS; (b) 30% BIS dan 70% TKKS; dan (c) 50% BIS dan 50% TKKS. Pada fase akhir ketika larva menjadi prepupa, kandungan asam lemak didominasi oleh asam laurat. Komposisi asam lemak dilaporkan sebagai nilai rata-rata dengan tiga kali pengulangan

Figure 1. Changes in fatty acid composition during feeding (a) 70% PKM and 30% OPEFB; (b) 30% PKM and 70% OPEFB; and (c) 50% PKM and 50% OPEFB. In the final phase when the larvae become prepupae, the fatty acid content is dominated by lauric acid. Fatty acid compositions are reported as mean values with error bars reflecting the standard deviation associated with three replicates

Gambar 1a menunjukkan kandungan asam lemak dan perubahan yang terjadi dalam metabolisme larva pada perlakuan A. Akumulasi asam lemak tertinggi pada usia 8 DAH yakni asam palmitat (35,532%). Hal ini disebabkan pakan *nursery feed* mudah dicerna, sehingga terjadi akumulasi asam palmitat hasil metabolisme larva. Hal ini sesuai dengan penelitian Carta *et al.*, 2017 yang menyatakan bahwa sintesa asam palmitat di dalam tubuh diakibatkan adanya asupan asam palmitat, tingginya kandungan nutrisi dan pencernaan pakan yang diberikan, sehingga jalur metabolisme di mitokondria memasuki jalur sintesa asam palmitat. Kandungan asam palmitat pada tubuh larva di perlakuan A tidak berubah secara signifikan hingga hari ke-16. Hal ini menunjukkan bahwa energi dari pakan *nursery feed* tidak berkurang secara signifikan, terlebih lagi pakan yang diberikan pada perlakuan A didominasi juga oleh BIS. Hal ini menyebabkan larva berada pada kondisi metabolisme stagnan yang menyebabkan bertahannya cadangan energi dalam tubuh larva dalam bentuk asam palmitat.

Namun, meskipun asam lemak dominan pada pakan perlakuan A adalah asam laurat pada usia panen, tidak terjadi akumulasi asam laurat pada awal pertumbuhan larva. Kandungan asam laurat pada larva perlakuan A mengalami peningkatan yang eksponensial pada usia 16 DAH dimana baik kandungan palmitat maupun oleat mengalami penurunan. Sebagaimana dijelaskan oleh Dayrit (2015), asam laurat dapat di-metabolisme dengan mudah dibandingkan dengan asam lemak dengan rantai karbon lebih panjang oleh tubuh melalui proses β -oksidasi untuk menjadi energi yang dapat dimanfaatkan langsung oleh organisme. Hal ini mengindikasikan bahwa kebutuhan energi pada awal pertumbuhan larva relatif tinggi.

Pada fase akhir ketika larva menjadi prepupa, kandungan asam lemak didominasi oleh asam laurat sebesar 43,317%. Berdasarkan penelitian oleh Zhu *et al.*, (2019) asam laurat pada larva BSF disintesa melalui jalur *de novo*. Asam palmitat dan asam oleat menurun akibat terjadinya pengalihan jalur metabolisme pada hari ke-16. Selain asam laurat yang disintesa melalui jalur metabolisme, BSF perlakuan A juga mampu mensintesa asam lemak α -linoleat (n-3) pada fase prepupanya (0,478±0,008%).

Gambar 1b menunjukkan dinamika perubahan komposisi asam lemak pada larva perlakuan B. Asam

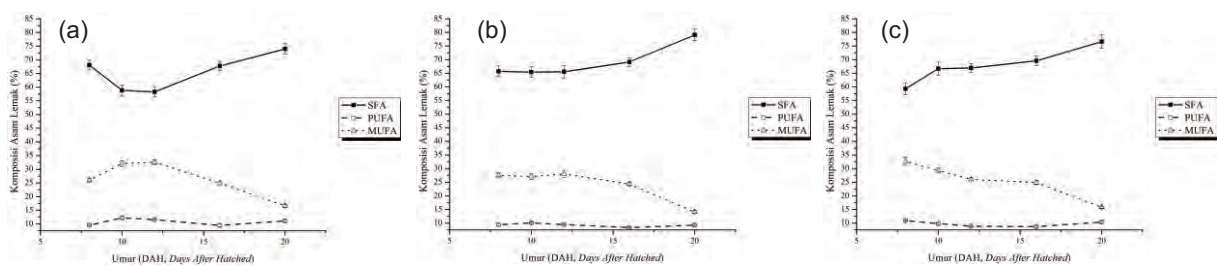
lemak pada awal pertumbuhan saat perlakuan didominasi oleh asam palmitat, asam oleat, dan asam laurat (31,194%, 26,049%, dan 22,233%, secara berurutan). Namun pada fase prepupa, asam lemak yang dominan adalah asam laurat (53,07%), jauh lebih dominan dibandingkan asam palmitat maupun asam oleat (16,017% dan 12,982%, secara berurutan). Dinamika ini terjadi lebih cepat dibandingkan dengan perlakuan A (Gambar 1a). Hal ini disebabkan oleh kandungan TKKS sebagai bahan baku dominan pada pakan B, yang memiliki tingkat cerna yang lebih rendah dibandingkan perlakuan A (C/N rasio : 53,7 dan 27,3 secara berurutan). Berdasarkan penelitian oleh Ooninx *et al.*, (2015), pakan dengan kandungan nutrisi dengan pencernaan yang rendah akan menyebabkan larva BSF mengkonversi asam lemak dari pakannya menjadi asam laurat untuk dikonversi dengan melakukan β -oksidasi menjadi ATP sebagai pemenuhan kebutuhan energinya. Pemanfaatan pakan dengan C/N rasio tinggi menyebabkan terjadinya pengalihan sistem metabolisme basal pada tubuh larva yang berakibat pada terhambatnya pertumbuhan dan ketidakseimbangan nutrisi dalam tubuh larva (Liu *et al.*, 2021; Yurina and Karagodin, 2018).

Dinamika perubahan asam lemak di beberapa titik pertumbuhan BSF yang diberikan perlakuan C dapat diamati pada Gambar 1c. bahwa performa BSF bila diberi komposisi pakan seimbang antara BIS dan TKKS, dinamika yang sama seperti ditunjukkan pada perlakuan A dan B, namun lebih cepat, yakni dimulai sejak umur 8 DAH. Hal ini dipicu oleh keseimbangan nutrisi dan pencernaan pakan perlakuan C. Asupan asam laurat oleh BIS yang tinggi, disertai kandungan oleat dan palmitat yang seimbang (Tabel 2), menyebabkan larva cenderung mengonversi asam lemak pada pakan lebih cepat dibandingkan kedua jenis pakan sebelumnya. Meski demikian, akumulasi asam laurat pada larva perlakuan C (47,468%) tidak setinggi larva pada perlakuan B. Hal ini diduga disebabkan oleh karena kebutuhan pakan yang berbeda dibandingkan perlakuan B, dimana pencernaan dan nutrisi pada perlakuan C menyebabkan larva melakukan *rapid consumption* dan pakan yang tersedia tidak mencukupi untuk dikonversi menjadi asam lemak yang diharapkan. Lalander *et al.*, (2019), menyatakan bahwa selain pertumbuhan, akumulasi nutrisi dan performa konversi biomassa BSF dipengaruhi juga oleh kualitas dan kuantitas pakan.

Gambar 2a menunjukkan dinamika perubahan komposisi asam lemak dari tiga golongan (SFA, MUFA, dan PUFA) yang terakumulasi pada setiap titik tumbuh larva BSF berdasarkan pakan 70% BIS dan 30% TKKS. Hal ini ditunjukkan dari peningkatan SFA pada perlakuan A dari 68,044% menjadi 73,997% pada usia panen. Selain itu, terjadi peningkatan akumulasi PUFA, dimana kandungan PUFA diawali dengan 9,54%, meningkat menjadi 11,098% pada usia panen. Namun, terjadi penurunan kadar MUFA dari

26,036% menjadi 16,67%.

Hal yang sama juga ditunjukkan pada perlakuan pakan 50% BIS dan 50% TKKS (Gambar 2b), dimana terjadi peningkatan kandungan SFA dari 65,717% menjadi 79,052% dan penurunan kandungan MUFA dari 27,519% menjadi 14,057%. Namun, tidak ada perubahan signifikan pada kandungan PUFA larva perlakuan B dimana kandungan awal PUFA yakni sebesar 9,399% menjadi 9,25% PUFA pada usia panen.



Gambar 2. Dinamika perubahan komposisi SFA, PUFA dan MUFA selama pemberian pakan (a) 70% BIS dan 30% TKKS; (b) 30% BIS dan 70% TKKS; dan (c) 50% BIS dan 50% TKKS. Komposisi asam lemak dilaporkan sebagai nilai rata-rata dengan tiga kali pengulangan

Figure 2. Changes in fatty acid composition during feeding (a) 70% PKM and 30% OPEFB; (b) 30% PKM and 70% OPEFB; and (c) 50% PKM and 50% OPEFB. Fatty acid compositions are reported as mean values with error bars reflecting the standard deviation associated with three replicates

Sementara pada larva yang diberi pakan perlakuan pakan 30% BIS dan 70% TKKS (Gambar 2c), terjadi peningkatan SFA yang lebih signifikan dibandingkan perlakuan lain dimana kandungan SFA awal sebesar 59,278% menjadi 76,595%. Seperti dinamika pada perlakuan B, PUFA pada larva BSF perlakuan C juga mengalami penurunan, namun tidak signifikan, yakni diawali dengan kadar PUFA awal sebesar 10,921% menjadi 10,346% pada usia panen. MUFA pada perlakuan C juga mengalami penurunan seperti pada kedua perlakuan sebelumnya, yakni diawali dengan kandungan MUFA sebesar 32,672% menjadi 15,806% pada usia panen.

cernaan yang tinggi. BIS pada riset ini memiliki kecenderungan tingkat cerna yang lebih tinggi dibandingkan TKKS, sehingga pakan A lebih cenderung mengakumulasi PUFA dibandingkan kedua perlakuan lainnya. Sesuai penelitian oleh Hoc *et al.*, (2020), juga yang menyatakan dalam kondisi larva dengan substrat yang memiliki kandungan nutrisi dan pencernaan yang rendah, larva mendapat energi dari proses elongasi, isomerisasi, maupun oksidasi senyawa asam lemak. Pada riset ini, pakan B dan C memiliki kecenderungan pencernaan rendah, sehingga, asam lemak PUFA dan MUFA cenderung ter-metabolisme dan dimanfaatkan sebagai sumber energi larva.

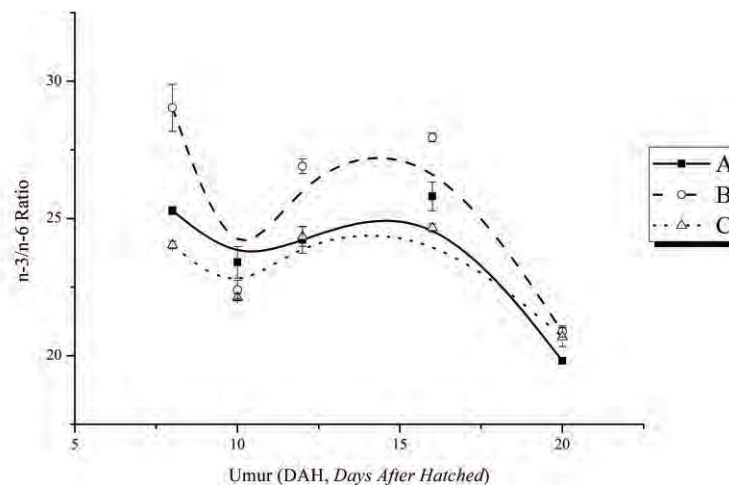
Dinamika pada asam lemak di larva BSF pada riset ini dipengaruhi oleh perbedaan pakan. Ketiga perlakuan menunjukkan aktivitas yang relatif sama: akumulasi SFA dan PUFA, serta metabolisme MUFA. Giannetto *et al.*, (2020) menyatakan bahwa larva menunjukkan tendensi sintesa PUFA atau MUFA dalam biomasnya bila diberi pakan dengan tingkat

Kandungan asam lemak n-3 dan n-6 merupakan salah satu alasan BSF menjadi salah satu kandidat bioreaktor asam lemak esensial yang berkelanjutan. Riset terdahulu menunjukkan kemampuan BSF dalam mengakumulasi bahkan mensintesa asam lemak n-3 dan n-6 (Giannetto *et al.*, 2020; Hoc *et al.*, 2020b). Sehingga pada riset ini, dilakukan pendekatan analisis

rasio asam lemak n-3 dan n-6 pada BSF menggunakan substrat dengan tingkat pencernaan yang rendah dan tidak mengandung n-3.

Gambar 3 menunjukkan dinamika rasio n-6/n-3 dari larva BSF di riset ini. Dari semua perlakuan, perlakuan A menunjukkan rasio yang paling menjanjikan untuk dimanfaatkan sebagai pakan ternak bernutrisi tinggi. Riset ini menunjukkan bahwa tingkat cerna dan ketersediaan nutrisi yang dipengaruhi oleh komposisi pakan berpengaruh terhadap sintesa dan akumulasi asam lemak n-3. Kenaikan pada asam lemak n-3 dapat menurunkan rasio n-6/n-3 pada larva BSF, dimana terdapat titik metabolisme asam lemak n-3 pada umur 10 DAH dan 20 DAH. Hal ini menunjukkan bahwa asam lemak n-3 dimanfaatkan untuk berkembang pada titik tumbuh krusial larva pada kedua umur tersebut. Pada 10 DAH, larva memasuki

fase instar 3 dimana kebutuhan nutrisi dan ketersediaan enzim pencernaan larva akan berubah dibandingkan fase sebelumnya. Pada 20 DAH, dimana larva sudah siap memasuki fase instar 5 dan mulai memasuki fase prepupa, larva akan memanfaatkan asam lemak n-3 untuk bermetabolisme dan membentuk *exuviae* (cangkang pupa). Pemahaman untuk sintesa dan akumulasi jenis asam lemak esensial ini sangat penting untuk menjaga dan meningkatkan pertumbuhan sensorik, kognitif, dan psikomotorik, serta meningkatkan kekebalan tubuh dengan memodulasi sistem imun pada tubuh dari hewan bila tepung BSF akan dimanfaatkan sebagai pakan ternak (Dewi Apri and Komalasari, 2020; Finco *et al.*, 2017; Gutiérrez *et al.*, 2019; Kwiatkowska and Maślińska, 2020; Lee *et al.*, 2009; Pompéia *et al.*, 2000; Strickland, 2014).



Gambar 3. Dinamika Rasio n-6/n-3 selama pemberian pakan. Rasio n-6/n-3 dilaporkan sebagai nilai rata-rata dengan tiga kali pengulangan

Figure 3. Dynamics of n6/n3 Ratio during feeding. n3/n6 ratio are reported as mean values with error bars reflecting the standard deviation associated with three replicates

Dinamika metabolisme asam lemak pada biomassa berupa larva BSF merupakan hasil metabolisme multi organisme, terutama simbiosis antara mikroba dan larva BSF sendiri. Mikroba dari TKKS dan BIS yang sebagian besar merupakan filum Ascomycota melakukan pelapukan dengan mendegradasi lignoselulosa pada TKKS dan BIS menjadi gula sederhana yang langsung dapat

dikonsumsi oleh larva BSF (Tahir *et al.*, 2019). Konsumsi gula sederhana oleh BSF dikonversi menjadi energi untuk beraktivitas melalui jalur katabolisme gula (glikolisis). Pada kondisi dimana kebutuhan energi larva terpenuhi, gula yang dikonsumsi akan dikonversi menjadi lemak pada larva melalui konversi enzimatik dan menghasilkan lemak yang disimpan dalam sel – sel tubuhnya . Keragaman



dan jalur metabolisme asam lemak oleh BSF menjadikannya bioreaktor alami yang berpotensi menjadi sumber minyak bernutrisi yang berkelanjutan di masa depan dengan memanfaatkan biomassa sawit berupa TKKS dan BIS.

KESIMPULAN

Pemanfaatan BSF sebagai agen biokonversi TKKS untuk memproduksi minyak dapat menjadi solusi pemenuhan kebutuhan minyak bernutrisi dan pengolahan limbah yang berkelanjutan. Berdasarkan hasil di riset ini, pencampuran bungkil inti sawit (BIS) dapat meningkatkan daya cerna dan kemampuan larva mengonversi pakan menjadi asam lemak esensial dengan lebih baik dibandingkan bila memanfaatkan TKKS sebagai komponen pakan dominan. Perolehan asam laurat tertinggi didapat dengan memanfaatkan kombinasi BIS: TKKS sebanyak 70: 30 dengan perolehan sebesar 53,07%. konversi asam lemak dengan memanfaatkan pakan dengan kandungan BIS lebih tinggi dibandingkan TKKS (70:30) menunjukkan akumulasi asam lemak n-3 yang lebih baik dibandingkan perlakuan lain (0,534%). Riset ini dapat menjadi informasi penting dalam mengaplikasikan metode biokonversi biomassa sawit dengan BSF untuk menghasilkan asam lemak yang spesifik secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Almeida Frazão, L., Bohluli, M., Teh, C., Sung, B., Husni, A., 2010. Oil palm by-products as a biomass source: availability and sustainability. *Journal of Oil Palm Research* 22: 1–4.

Carta, G., Murru, E., Banni, S. and Manca, C., 2017. Palmitic acid: Physiological role, metabolism and nutritional implications. *Frontiers in Physiology*. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00902>.

Da Silva, P., Ribeiro, N., Coelho Pinheiro, M.N. and Costa, R., 2019. Modelling Drying Kinetics of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*, L.) Larvae. *E3S Web of Conferences* 128 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912809011>.

Dayrit, F.M., 2015. The Properties of Lauric Acid and

Their Significance in Coconut Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 92: 1–15.

- Dewi Apri, A. and Komalasari, K., 2020. Feed and animal nutrition: Insect as animal feed. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/465/1/012002>.
- Ewald, N., Vidakovic, A., Langeland, M., Kiessling, A., Sampels, S. and Lalander, C., 2020. Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – Possibilities and limitations for modification through diet. *Waste Management The Authors*, 102: 40–47.
- Finco, A.M. de O., Mamani, L.D.G., Carvalho, J.C. de, de Melo Pereira, G.V., Thomaz-Soccol, V. and Soccol, C.R., 2017. Technological trends and market perspectives for production of microbial oils rich in omega-3. *Critical Reviews in Biotechnology* 37: 656–671.
- Fombong, F.T., Van Der Borght, M. and Broeck, J. Vanden, 2017. Influence of freeze-drying and oven-drying post blanching on the nutrient composition of the edible insect *Ruspolia differens*. *Insects* 8 <https://doi.org/10.3390/insects8030102>.
- Franco, A., Salvia, R., Scieuzo, C., Schmitt, E., Russo, A. and Falabella, P., 2022. Lipids from Insects in Cosmetics and for Personal Care Products. *Insects*. <https://doi.org/10.3390/insects13010041>.
- Giannetto, A., Oliva, S., Ceccon Lanes, C.F., de Araújo Pedron, F., Savastano, D., Baviera, C., Parrino, V., Lo Paro, G., Spanò, N.C., Cappello, T., Maisano, M., Mauceri, A. and Fasulo, S., 2020. *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae and prepupae: Biomass production, fatty acid profile and expression of key genes involved in lipid metabolism. *Journal of Biotechnology Elsevier*, 307: 44–54.
- Guil-Guerrero, J.L., Sánchez-Muros, M.J., Fabrikov, D., Rodríguez-Lozano, B., González-Fernández, M.J., Lyashenko, S. and Barroso, F.G., 2020. *Hermetia illucens* Larvae as a Living Bioreactor for Simultaneous Food by-Products Recycling and Useful Oil Production. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society* 97 <https://doi.org/10.1002/aocs.12370>.

- Gutiérrez, S., Svahn, S.L. and Johansson, M.E., 2019. Effects of omega-3 fatty acids on immune cells. *International Journal of Molecular Sciences* 20 <https://doi.org/10.3390/ijms20205028>.
- Hau, L.J., Shamsuddin, R., May, A.K.A., Saenong, A., Lazim, A.M., Narasimha, M. and Low, A., 2020. Mixed Composting of Palm Oil Empty Fruit Bunch (EFB) and Palm Oil Mill Effluent (POME) with Various Organics: An Analysis on Final Macronutrient Content and Physical Properties. *Waste and Biomass Valorization* 11: 1–10.
- Hoc, B., Genva, M., Fauconnier, M.L., Lognay, G., Francis, F. and Caparros Megido, R., 2020a. About lipid metabolism in *Hermetia illucens* (L. 1758): on the origin of fatty acids in prepupae. *Scientific Reports* 10 <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68784-8>.
- Hoc, B., Genva, M., Fauconnier, M.L., Lognay, G., Francis, F. and Caparros Megido, R., 2020b. About lipid metabolism in *Hermetia illucens* (L. 1758): on the origin of fatty acids in prepupae. *Scientific Reports Nature Publishing Group UK*, 10: 1–8.
- Judge, M.P., Harel, O. and Lammi-Keefe, C.J., 2007. Maternal consumption of a docosahexaenoic acid-containing functional food during pregnancy: Benefit for infant performance on problem-solving but not on recognition memory tasks at age 9 mo. *American Journal of Clinical Nutrition* 85: 1572–1577.
- Kwiatkowska, B. and Maślińska, M., 2020. The place of omega-3 and omega-6 acids in supplementary treatment of inflammatory joint diseases. *R e u m a t o l o g i a* . <https://doi.org/10.5114/reum.2020.93511>.
- Lalander, C., Diener, S., Zurbrugg, C. and Vinnerås, B., 2019. Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Journal of Cleaner Production* 208 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>.
- Lee, J.H., O'Keefe, J.H., Lavie, C.J. and Harris, W.S., 2009. Omega-3 fatty acids: Cardiovascular benefits, sources and sustainability. *Nature Reviews Cardiology* . <https://doi.org/10.1038/nrcardio.2009.188>.
- Leong, S.Y. and Kutty, S.R.M., 2020. Characteristic of *Hermetia illucens* Fatty Acid and that of the Fatty Acid Methyl Ester Synthesize Based on Upcycling of Perishable Waste. *Waste and Biomass Valorization* 11 <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01018-0>.
- Liu, C., Wang, C., Yao, H. and Chapman, S.J., 2021. Pretreatment is an important method for increasing the conversion efficiency of rice straw by black soldier fly larvae based on the function of gut microorganisms. *Science of the Total Environment Elsevier B.V.*, 762 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144118>.
- Oonincx, D.G.A.B., Van Broekhoven, S., Van Huis, A. and Van Loon, J.J.A., 2015. Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *P L O S O N E* 10 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>.
- Palma, L., Fernandez-Bayo, J., Niemeier, D., Pitesky, M. and VanderGheynst, J.S., 2019. Managing high fiber food waste for the cultivation of black soldier fly larvae. *npj Science of Food Springer US*, 3 <https://doi.org/10.1038/s41538-019-0047-7>.
- Pompéia, C., Lopes, L.R., Miyasaka, C.K., Procópio, J., Sannomiya, P. and Curi, R., 2000. Effect of fatty acids on leukocyte function. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 33: 1255–1268.
- Ravi, H.K., Degrou, A., Costil, J., Trespeuch, C., Chemat, F. and Vian, M.A., 2020. Larvae mediated valorization of industrial, agriculture and food wastes: Biorefinery concept through bioconversion, processes, procedures, and products. *Processes* , 1–40.
- Razali, W.A.W., Baharuddin, A.S., TarmezeeTalib, A., Sulaiman, A., Naim, M.N., Hassan, M.A. and Shirai, Y., 2012. Degradation of oil palm empty fruit bunches (OPEFB) fibre during composting process using in-vessel composter. *BioResources* 7: 4786–4805.
- Schiavone, A., De Marco, M., Martínez, S., Dabbou, S., Renna, M., Madrid, J., Hernandez, F., Rotolo, L., Costa, P., Gai, F. and Gasco, L., 2017. Nutritional value of a partially defatted



- and a highly defatted black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) meal for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent metabolizable energy and apparent ileal amino acid digestibility. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 8 <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0181-5>.
- Schreven, S.J.J., Yener, S., van Valenberg, H.J.F., Dicke, M. and van Loon, J.J.A., 2021. Life on a piece of cake: Performance and fatty acid profiles of black soldier fly larvae fed oilseed by-products. *Journal of Insects as Food and Feed* 7: 35–49.
- Singh, A., Srikanth, B.H. and Kumari, K., 2021. Determining the Black Soldier fly larvae performance for plant-based food waste reduction and the effect on Biomass yield. *Waste Management Elsevier Ltd*, 130: 147–154.
- Sprangers, T., Michiels, J., Vrancx, J., Obyn, A., Eeckhout, M., De Clercq, P. and De Smet, S., 2018. Gut antimicrobial effects and nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae for weaned piglets. *Animal Feed Science and Technology* 235: 33–42.
- Stanley-Samuelson, D.W., Jurenka, R.A., Cripps, C., Blomquist, G.J. and de Renobales, M., 1988. Fatty acids in insects: Composition, metabolism, and biological significance. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology* 9: 1–33.
- Strickland, A.D., 2014. Prevention of cerebral palsy, autism spectrum disorder, and attention deficit - Hyperactivity disorder. *Medical Hypotheses Elsevier Ltd*, 82: 522–528.
- Trisakti, B., Mhardela, P., Husaini, T., Irvan and Daimon, H., 2018. Production of oil palm empty fruit bunch compost for ornamental plant cultivation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 309: 0–8.
- Yurina, O. V. and Karagodin, V.P., 2018. Studying development of *Hermetia Illucens* fly larvae cultivated on high cellulose plant substrates. *Bulgarian Journal of Agricultural Science Agricultural Academy, Bulgaria*, 24: 279–284.
- Zhu, Z., Rehman, K.U., Yu, Y., Liu, X., Wang, H., Tomberlin, J.K., Sze, S.H., Cai, M., Zhang, J., Yu, Z., Zheng, J. and Zheng, L., 2019. De novo transcriptome sequencing and analysis revealed the molecular basis of rapid fat accumulation by black soldier fly (*Hermetia illucens*, L.) for development of insectival biodiesel. *Biotechnology for Biofuels BioMed Central*, 12: 1–16.