

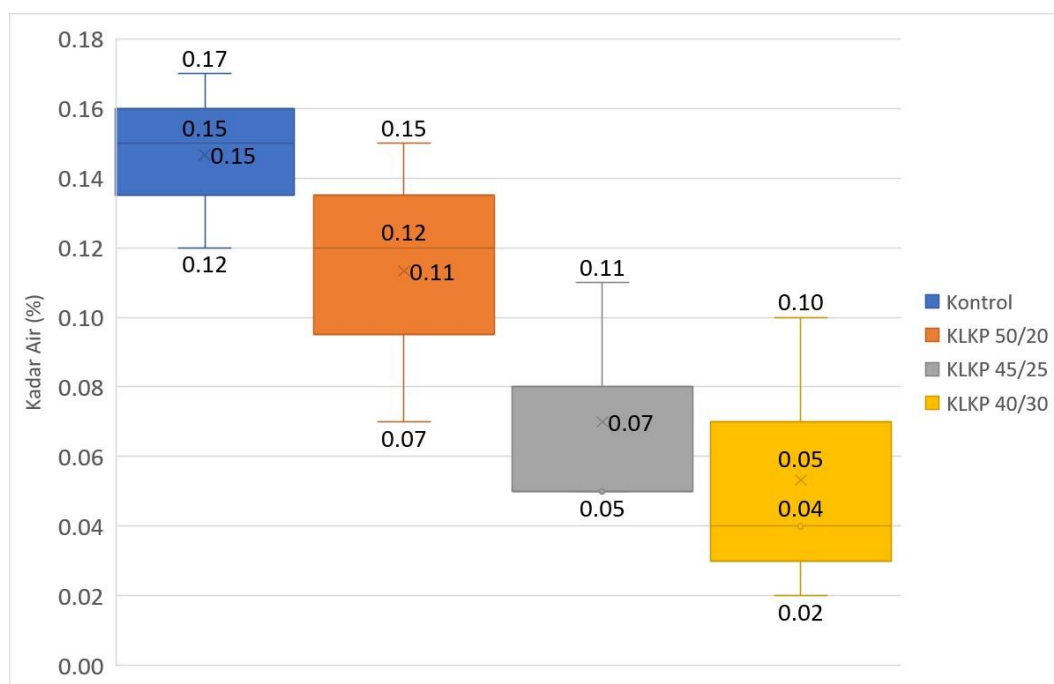
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang disajikan merupakan hasil pengujian BSFLO yang telah melalui proses budidaya dengan kombinasi empat formulasi pakan yang berbeda variasi substrat.

4.1. Hasil Pengujian Kadar Air BSFLO

Hasil pengujian kadar air BSFLO pada setiap perlakuan ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel untuk melihat perbedaan nilai akibat variasi substrat ampas kelapa dan kulit kopi. Hasil pengujian kadar air BSFLO pada setiap perlakuan disajikan pada Ilustrasi 3 dan tabel 3.



Ilustrasi 3. Grafik Kadar Air BSFLO

(Kontrol: limbah roti 100%; KLKP 50/20: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 50%, dan kulit kopi 20%; KLKP 45/25: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 45%, dan kulit kopi 25%; KLKP 40/30: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 40%, dan kulit kopi 30% (n = 3)).

Tabel 3. Hasil Pengujian Kadar Air BSFLO

Sampel	Kadar Air (%)			
	Rata-rata	Median	Minimum	Maksimum
Kontrol	0.15	0.15	0.12	0.17
KLKP 50/20	0.11	0.12	0.07	0.15
KLKP 45/25	0.07	0.05	0.05	0.11
KLKP 40/30	0.05	0.04	0.02	0.10

Keterangan:

Kontrol : limbah roti 100%;

KLKP 50/20 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 50%, dan kulit kopi 20%;

KLKP 45/25 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 45%, dan kulit kopi 25%;

KLKP 40/30 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 40%, dan kulit kopi 30%
(n = 3).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar air BSFLO bervariasi sesuai dengan perbedaan formulasi substrat pakan yang diberikan. Kadar air tertinggi ditemukan pada BSFLO kontrol sebesar 0.15%, dengan nilai yang menurun secara konsisten seiring dengan perubahan komposisi pada pakan campuran. Pada formulasi KLKP 50/20%, kadar air berada pada angka 0.11%, kemudian turun menjadi 0.07% pada KLKP 45/25% dan mencapai titik terendah pada formulasi KLKP 40/30% sebesar 0.05%. Secara keseluruhan, nilai kadar air yang diperoleh tergolong sangat rendah dan memenuhi standar SNI 2902:2011 yang menerapkan batas maksimum kadar air minyak berada dibawah 0,5% untuk mencegah hidrolisis dan peningkatan FFA. Penurunan kadar air ini berkaitan dengan perubahan komposisi substrat yang memengaruhi kemampuan retensi air dalam media pakan (Haskaraca *et al.* 2025).

Tingginya kadar air pada BSFLO kontrol disebabkan oleh tingginya ketersediaan air pada substrat limbah roti yang memiliki kemampuan retensi air yang tinggi. Air yang tersedia dalam substrat akan dikonsumsi bersama nutrisi dan kemudian diatur melalui mekanisme osmoregulasi dalam tubuh BSFL (Bekker *et al.* 2021). Air digunakan untuk mendukung aktivitas metabolisme, pencernaan, dan transport nutrisi, sedangkan kelebihan dikeluarkan melalui

proses ekskresi dan respirasi (Eriksen, 2024). Namun, pada kondisi substrat dengan retensi air yang tinggi, sebagian air dapat tetap terakumulasi dalam jaringan tubuh BSFL sehingga berpotensi meningkatkan kadar air yang terbawa pada minyak hasil ekstraksi. Kondisi kadar air yang tinggi pada substrat pakan berbasis serelia ini sejalan dengan karakteristik matriks pakan yang cenderung mengikat air (Cova *et al.*, (2026).

Pada variasi perlakuan KLKP, penambahan kulit kopi dan penurunan proporsi ampas kelapa diduga mengubah karakteristik fisikokimia media pakan yang kemudian memengaruhi osmoregulasi BSFL, terutama dalam pengaturan keseimbangan air tubuh. Kulit kopi yang memiliki kandungan serat kasar tinggi serta senyawa antinutrisi seperti tanin dan kafein diduga dapat membatasi ketersediaan air bebas yang dapat diserap oleh epitel dinding saluran pencernaan BSFL (Hoseini *et al.* 2026; Fischer *et al.* 2021; Bekker *et al.* 2021). Dalam kondisi tersebut, BSFL akan melakukan adaptasi fisiologis untuk mempertahankan homeostasis cairan dengan meningkatkan efisiensi penyerapan kembali air pada saluran pencernaan belakang (*hindgut*) serta menekan kehilangan cairan melalui ekskresi (Gurusinga *et al.* 2026).

Perubahan pola penyerapan cairan ini mengubah alokasi distribusi air di dalam tubuh BSFL. Penyesuaian fisiologis pada saluran pencernaan tersebut menyebabkan air yang tersedia lebih difokuskan untuk mendukung proses metabolisme esensial, sehingga akumulasi air pada jaringan tubuh larva menjadi lebih terbatas (Padmanabha *et al.* 2023; Bonelli *et al.* 2019). Kondisi tersebut diduga berkontribusi terhadap rendahnya kandungan air yang terbawa pada biomassa BSFL, sehingga kadar air pada minyak hasil ekstraksi juga menjadi

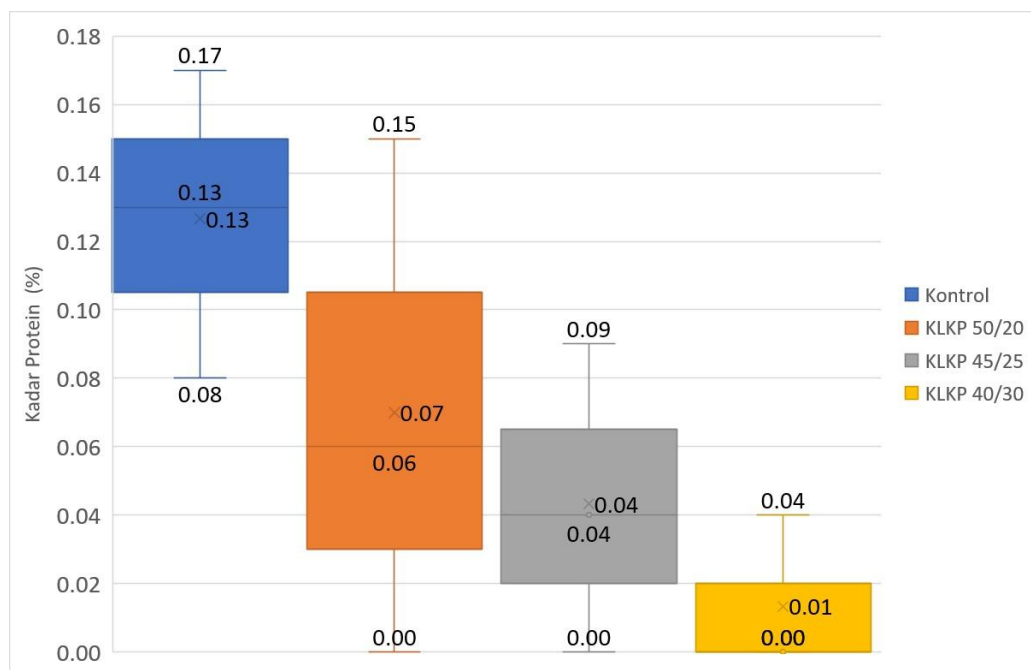
lebih rendah. Penurunan kadar air minyak ini dikonfirmasi oleh fakta bahwa penambahan substrat berserat tinggi dan kaya polifenol mampu meningkatkan porositas media pakan sehingga menurunkan retensi air bebas (Putri *et al.*, 2026)

Penurunan kadar air dari KLKP 50/20% hingga KLKP 40/30% menunjukkan bahwa perubahan komposisi pakan tidak hanya memengaruhi karakteristik fisik substrat, tetapi juga memengaruhi proses fisiologis BSFL dalam mengelola keseimbangan cairan tubuh. Semakin rendah ketersediaan air yang dapat dimanfaatkan dari substrat, semakin sedikit air yang tersimpan dalam jaringan larva dan semakin rendah kadar air yang terikut dalam minyak yang dihasilkan.

Secara keseluruhan, formulasi pakan KLKP 40/30% menghasilkan kadar air terendah yaitu 0.05%. Rendahnya kadar air ini penting untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme dan menjaga kualitas nutrisi selama penyimpanan serta menekan risiko kontaminasi dan kerusakan oksidatif (Haskaraca *et al.* 2025). Berdasarkan nilai rata-rata kadar air yang diperoleh, urutan hasil kadar air dari terendah hingga tertinggi adalah KLKP 40/30%, KLKP 45/25%, KLKP 50/20%, dan kontrol. Seluruh perlakuan masih menunjukkan tingkat kadar air yang relatif rendah.

4.2. Hasil Pengujian Kadar Protein BSFLO

Grafik dan tabel berikut menunjukkan hasil pengukuran kadar protein BSFLO pada tiap perlakuan. Perbedaan nilai yang muncul menggambarkan pengaruh variasi substrat ampas kelapa dan kulit kopi terhadap kandungan protein residu minyak. Grafik dan tabel disajikan pada ilustrasi 4 dan tabel 4.



Ilustrasi 4. Grafik Kadar Protein BSFLO

(Kontrol: limbah roti 100%; KLKP 50/20: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 50%, dan kulit kopi 20%; KLKP 45/25: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 45%, dan kulit kopi 25%; KLKP 40/30: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 40%, dan kulit kopi 30% (n = 3))

Tabel 4. Hasil Pengujian Kadar Protein BSFLO

Sampel	Kadar Protein (%)			
	Rata-rata	Median	Minimum	Maksimum
Kontrol	0.13	0.13	0.08	0.17
KLKP 50/20	0.07	0.06	0.00	0.15
KLKP 45/25	0.04	0.04	0.00	0.09
KLKP 40/30	0.01	0.00	0.00	0.04

Keterangan:

Kontrol : limbah roti 100%;

KLKP 50/20 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 50%, dan kulit kopi 20%;

KLKP 45/25 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 45%, dan kulit kopi 25%;

KLKP 40/30 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 40%, dan kulit kopi 30% (n = 3).

Berdasarkan hasil pengujian, kadar protein minyak menunjukkan penurunan yang selaras dengan peningkatan proporsi kulit kopi dan pengurangan ampas kelapa dalam formulasi. Kadar protein tertinggi ditemukan pada pakan kontrol sebesar 0.13%. Pada formulasi campuran, kadar protein turun secara bertahap pada KLKP 50/20% menjadi 0.07%, KLKP 45/25% sebesar 0.04%, hingga titik terendah pada formulasi KLKP 40/30% sebesar 0.01%. Hasil ini sesuai dengan

penelitian Fischer *et al.* (2021) yang menunjukkan BSFL dengan pakan roti menghasilkan protein yang tinggi. Rendahnya kadar protein pada BSFLO menunjukkan tingkat kemurnian lipid yang tinggi, di mana keberadaan protein dalam minyak sering dianggap sebagai pengotor (*impurities*) yang dapat menurunkan stabilitas oksidatif minyak (Da Silva *et al.*, 2025).

Penurunan kadar protein berbanding terbalik dengan peningkatan kulit kopi dalam pakan. Hal ini diduga disebabkan oleh tingginya kandungan serat kasar, khususnya lignin dan selulosa, serta senyawa antinutrisi berupa kafein dan tanin pada kulit kopi yang menghambat penyerapan nutrisi oleh BSFL. Menurut Hoseini *et al.* (2026) kulit kopi merupakan substrat yang cukup sulit dimanfaatkan oleh BSFL karena adanya senyawa fenolik yang dapat menghambat aktivitas enzim protease dalam mencerna protein pakan. Meskipun kulit kopi secara teoritis mengandung protein lebih tinggi dibandingkan kelapa, protein tersebut tidak mampu diserap secara optimal karena terikat dalam kompleks lignoselulosa yang kuat (Sideris *et al.* 2021).

Kondisi rendahnya ketersediaan asam amino esensial akibat hambatan pencernaan tersebut pada akhirnya memaksa BSFL untuk melakukan strategi pertahanan hidup. Fenomena kelangkaan nutrisi ini mendorong BSFL melakukan penyesuaian metabolisme, di mana energi yang tersedia dialihkan dari sintesis protein tubuh menjadi akumulasi lemak sebagai cadangan energi untuk fase pupa dan imago (Liu *et al.* 2017). Pergeseran deposisi nutrisi dari fraksi protein ke fraksi lipid dalam jaringan tubuh larva inilah yang kemudian memengaruhi tingkat kemurnian serta komposisi residu mikro-protein yang ikut terekstraksi ke dalam fase minyak produk akhir (Da Silva *et al.*, 2025).

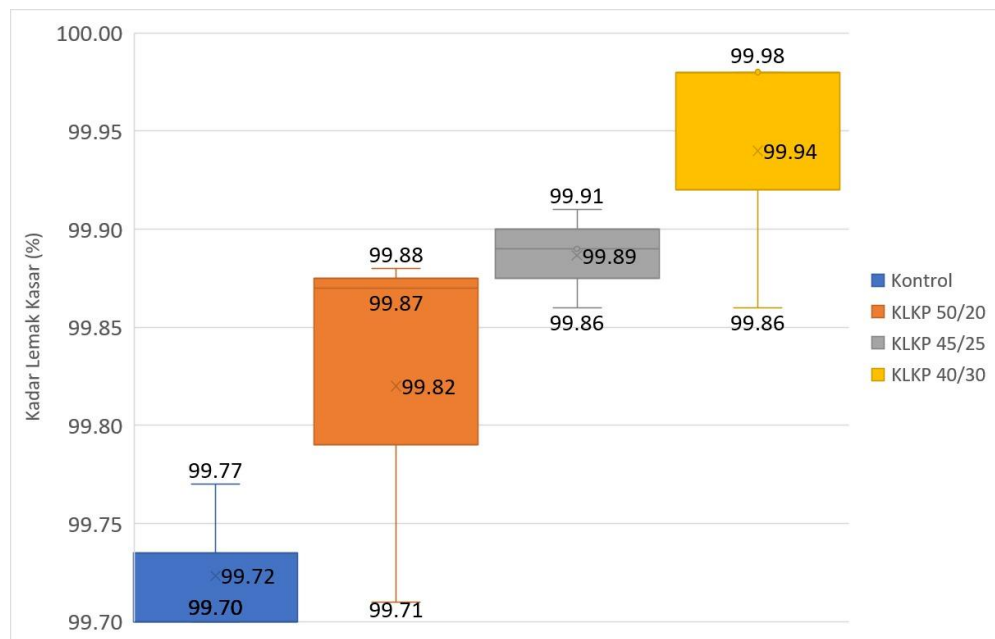
Tingginya kadar protein pada BSFLO kontrol berkaitan dengan karakteristik substrat roti yang kaya akan gluten dan pati tergelatinisasi. Gluten bertindak sebagai agen pengemulsi alami yang mengikat molekul protein ke dalam fase minyak saat ekstraksi (Novo *et al.* 2024). Sebaliknya, keberadaan senyawa polifenol pada kulit kopi dalam perlakuan KLKP diduga berperan sebagai *demulsifier* yang mengganggu ikatan tersebut, sehingga kadar protein yang terdeteksi dalam fase minyak menjadi sangat rendah (Fischer *et al.* 2021).

Selain itu, rendahnya kadar protein yang terdeteksi dalam BSFLO memberikan dampak positif terhadap kualitas minyak yang dihasilkan. Semakin rendah kandungan protein dalam fase minyak, maka tingkat kemurnian lipid menjadi lebih tinggi (Fischer *et al.* 2021). Kehadiran protein sebagai pengotor diketahui dapat mempercepat reaksi oksidasi melalui mekanisme katalisis enzimatis maupun pembentukan kompleks dengan komponen lipid (Da Silva *et al.*, 2025). Oleh karena itu, formulasi pakan dengan proporsi kulit kopi yang lebih tinggi meskipun menurunkan efisiensi penyerapan protein oleh BSFL, justru dapat menghasilkan minyak dengan kualitas fisikokimia yang lebih stabil.

Hasil pengujian secara keseluruhan menunjukkan bahwa penggunaan pakan kontrol menghasilkan kadar protein tertinggi (0.13%), namun dalam kategori formulasi pakan campuran, perlakuan KLKP 50/20% menghasilkan kadar protein tertinggi sebesar 0.07% karena rendahnya proporsi kulit kopi meminimalkan pengaruh serat kasar dan zat antinutrisi yang menghambat penyerapan protein. Berdasarkan nilai rata-rata kadar protein, urutan hasil yang diperoleh adalah kontrol, KLKP 50/20%, KLKP 45/25%, serta formulasi KLKP 40/30% yang menunjukkan kadar protein terendah.

4.3. Hasil Pengujian Kadar Lemak Kasar BSFLO

Perbandingan kadar lemak kasar BSFLO pada setiap perlakuan disajikan dalam bentuk grafik dan tabel. Data ini menunjukkan variasi nilai yang dihasilkan dari perbedaan komposisi substrat ampas kelapa dan kulit kopi. Ilustrasi 5 dan tabel 5 memperlihatkan hasil pengujian tersebut.



Ilustrasi 5. Grafik Kadar Lemak Kasar BSFLO

(Kontrol: limbah roti 100%; KLKP 50/20: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 50%, dan kulit kopi 20%; KLKP 45/25: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 45%, dan kulit kopi 25%; KLKP 40/30: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 40%, dan kulit kopi 30% (n = 3))

Tabel 5. Hasil Pengujian Kadar Lemak Kasar BSFLO

Sampel	Kadar Lemak Kasar (%)			
	Rata-rata	Median	Minimum	Maksimum
Kontrol	99.72	99.70	99.70	99.77
KLKP 50/20	99.82	99.87	99.71	99.88
KLKP 45/25	99.89	99.89	99.86	99.91
KLKP 40/30	99.94	99.98	99.86	99.98

Keterangan:

Kontrol : limbah roti 100%;

KLKP 50/20 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 50%, dan kulit kopi 20%;

KLKP 45/25 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 45%, dan kulit kopi 25%;

KLKP 40/30 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 40%, dan kulit kopi 30% (n = 3).

Hasil pengujian kadar lemak kasar menunjukkan peningkatan yang berbanding lurus seiring dengan perubahan formulasi substrat. Kadar lemak terendah ditemukan pada pakan kontrol sebesar 99.72%, kemudian meningkat pada KLKP 50/20% menjadi 99.82%, KLKP 45/25% sebesar 99.89%, dan tertinggi pada KLKP 40/30% sebesar 99.94%. Perbedaan kadar lemak yang diperoleh sesuai dengan penelitian oleh Ewald *et al.* (2020) bahwa variasi komposisi asam lemak dan total lipid BSFL sangat bergantung pada kepadatan nutrisi dan jenis serat dalam media biokonversi.

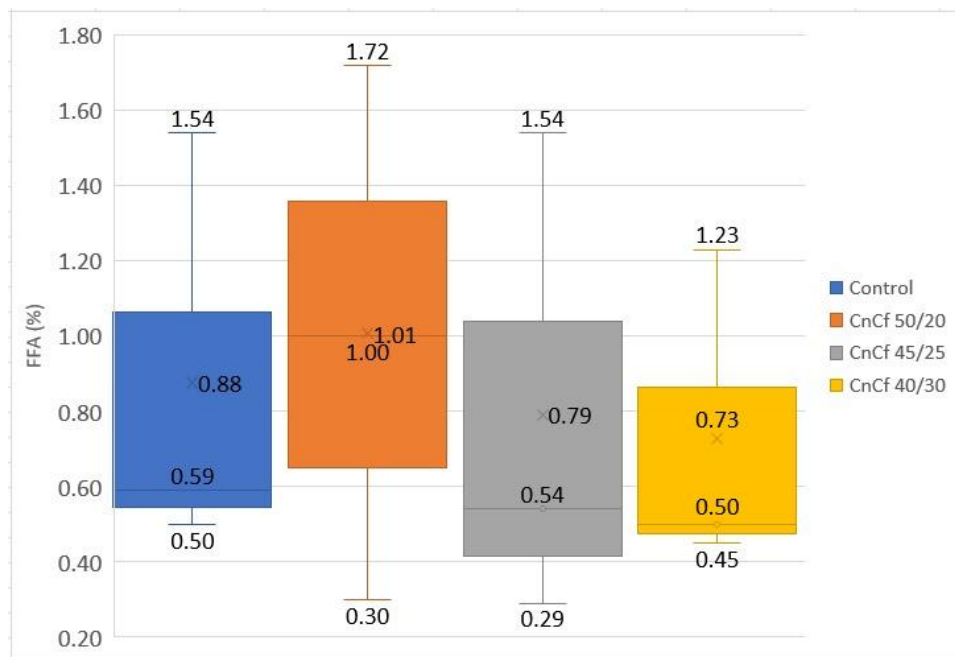
Peningkatan kadar lemak berkaitan dengan mekanisme adaptasi BSFL terhadap kondisi pakan yang kurang optimal. Pada kontrol, ketersediaan karbohidrat dari roti yang mudah diserap memungkinkan BSFL mengalokasikan energinya secara seimbang antara pertumbuhan jaringan dan cadangan lemak (Cammack dan Jeffery, 2017). Meningkatnya proporsi kulit kopi pada formulasi pakan menyebabkan kandungan serat kasar (lignoselulosa) dan zat antinutrisi dalam substrat turut meningkat, sehingga menurunkan daya serap nutrisi bagi BSFL (Sideris *et al.* 2021). Kondisi tersebut memicu terjadinya *nutritional stress* yang mengalihkan metabolisme energi dari pembentukan jaringan protein struktural ke penyimpanan cadangan lemak melalui proses lipogenesis (Liu *et al.* 2017).

Hal ini terlihat dari peningkatan kadar lemak yang berbanding terbalik dengan penurunan kadar protein, yang menunjukkan terjadinya *metabolic partitioning* pada BSFL. Menurut penelitian Schneider *et al.* (2025), BSFL yang diberi substrat berkualitas rendah cenderung mengalihkan energi yang diserap ke pembentukan lemak sebagai cadangan energi dibandingkan untuk sintesis protein

struktural. Selain itu, minimnya zat pengotor berupa protein terlarut pada perlakuan KLKP 40/30% juga menyebabkan persentase lemak yang terdeteksi menjadi lebih tinggi dan lebih murni (Fischer *et al.* 2021). Berdasarkan nilai rata-rata kadar lemak kasar, urutan hasil yang diperoleh adalah KLKP 40/30%, KLKP 45/25%, KLKP 50/20%, dan kontrol.

4.4. Hasil Pengujian Kadar FFA BSFLO

Hasil analisis nilai *free fatty acid* (FFA) BSFLO pada tiap perlakuan ditunjukkan melalui grafik dan tabel berikut. Perbedaan nilai FFA mencerminkan pengaruh variasi substrat ampas kelapa dan kulit kopi terhadap BSFLO. Grafik dan tabel disajikan pada ilustrasi 6 dan tabel 6.



Ilustrasi 6. Grafik Kadar FFA BSFLO

(Kontrol: limbah roti 100%; KLKP 50/20: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 50%, dan kulit kopi 20%; KLKP 45/25: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 45%, dan kulit kopi 25%; KLKP 40/30: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 40%, dan kulit kopi 30% (n = 3))

Tabel 6. Hasil Pengujian Kadar FFA BSFLO

Sampel	Kadar FFA (%)			
	Rata-rata	Median	Minimum	Maksimum
Kontrol	0.88	0.59	0.50	1.54
KLKP 50/20	1.01	1.00	0.30	1.72
KLKP 45/25	0.79	0.54	0.29	1.54
KLKP 40/30	0.73	0.50	0.45	1.23

Keterangan:

Kontrol : limbah roti 100%;

KLKP 50/20 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 50%, dan kulit kopi 20%;

KLKP 45/25 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 45%, dan kulit kopi 25%;

KLKP 40/30 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 40%, dan kulit kopi 30%
(n = 3).

Hasil pengujian menunjukkan kecenderungan penurunan kadar FFA seiring dengan berkurangnya proporsi ampas kelapa dan meningkatnya proporsi kulit kopi dalam pakan. Kadar FFA pada kontrol sebesar 0.88%, meningkat pada KLKP 50/20% menjadi 1.01%, kemudian turun secara bertahap pada KLKP 45/25% menjadi 0.79%, dan mencapai titik terendah pada KLKP 40/30% sebesar 0.73%. Secara keseluruhan, kadar FFA yang diperoleh masih berada diambang batas yang umum untuk *crude oil* dan menunjukkan kualitas yang cukup baik, sesuai dengan penelitian Haskaraca *et al.* (2025), bahwa kadar FFA pada minyak BSFL biasanya berkisar antara 0,6% hingga 2%, tergantung pada kandungan air substrat dan metode pascapanen.

Status substrat sebagai limbah organik memberikan kontribusi terhadap nilai FFA awal substrat. Pada perlakuan kontrol, residu lemak dari margarin atau minyak nabati dalam roti kemungkinan telah mengalami pemecahan parsial menjadi FFA selama penyimpanan limbah. Wang *et al.* (2021) menjelaskan bahwa bahan limbah pangan serelia sering mengalami pelepasan asam lemak dari matriks pati-protein akibat paparan oksidasi lingkungan. Kondisi ini diperparah oleh keberadaan zat emulsi seperti lesitin dalam roti yang mempermudah interaksi air dan lemak, sehingga mempercepat laju hidrolisis lipid (Goswami *et al.*, 2025).

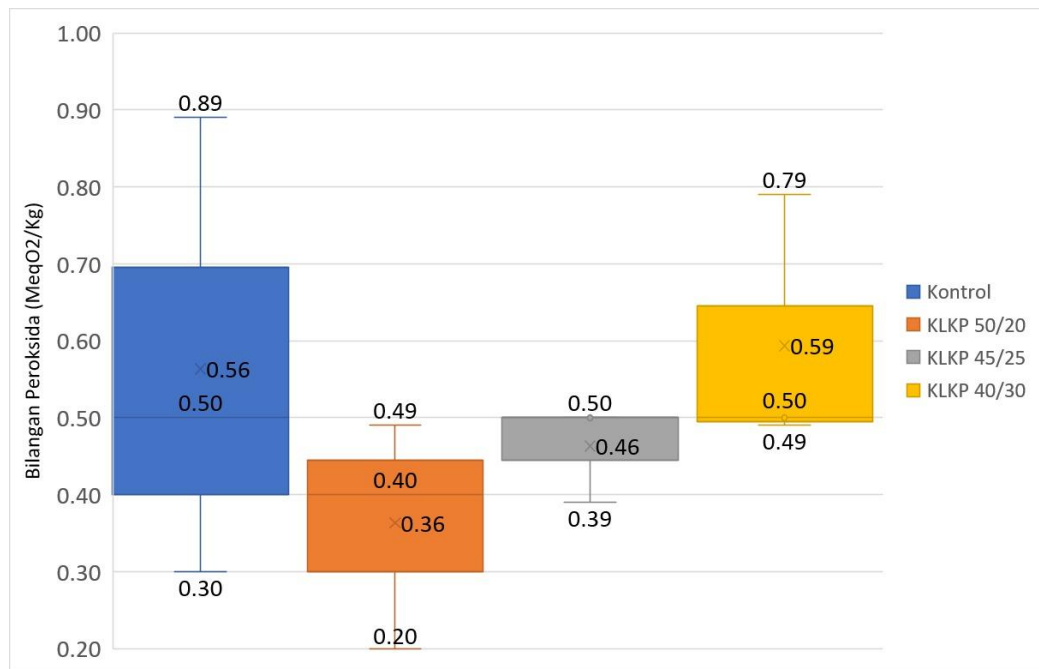
Peningkatan nilai FFA pada formulasi KLKP 50/20% berkaitan dengan karakter ampas kelapa sebagai limbah industri pemerasan santan yang masih mengandung residu minyak dan enzim lipase alami. Pengecilan ukuran bahan melalui proses serut meningkatkan luas permukaan bahan sehingga enzim lipase menjadi lebih aktif akibat paparan udara, yang memicu hidrolisis lemak menjadi FFA meskipun dalam waktu singkat pada suhu ruang (Zheng dan Yan, 2018). Kondisi ini didukung oleh kadar air ampas kelapa yang tinggi sebagai syarat utama terjadinya hidrolisis dan memicu kenaikan FFA (Emebu *et al.* 2022).

Aktivitas hidrolitik ini didukung oleh kestabilan emulsi alami di dalam matriks substrat tersebut. Keberadaan protein globulin dan albumin berfungsi sebagai emulsifier alami juga mempermudah kontak antara fase air dan minyak dalam matriks ampas kelapa, dan mempercepat laju pembentukan FFA sebelum substrat dikonsumsi oleh BSFL (Patil dan Soottawat, 2017; Ravi *et al.* 2021). Karena ampas kelapa merupakan komponen dominan pada KLKP 50/20, maka bawaan FFA dari minyak kelapa tersebut secara langsung terakumulasi ke dalam jaringan lemak larva.

Formulasi KLKP 40/30% menghasilkan kadar FFA terendah yaitu 0.73% karena pengurangan ampas kelapa yang secara mekanis membatasi jumlah FFA yang sudah terbentuk sebelumnya dari hasil hidrolisis enzimatik yang masuk ke dalam sistem metabolisme larva. Berdasarkan nilai rata-rata kadar FFA, urutan hasil dari nilai terendah hingga tertinggi adalah KLKP 40/30%, KLKP 45/25%, kontrol, dan KLKP 50/20%. Meskipun demikian, kadar FFA seluruh perlakuan masih tergolong sangat rendah dan berkualitas baik.

4.5. Hasil Pengujian Bilangan Peroksida BSFLO

Grafik dan tabel bilangan peroksida BSFLO menunjukkan adanya variasi nilai pada setiap perlakuan. Perbedaan ini berkaitan dengan komposisi substrat ampas kelapa dan kulit kopi yang digunakan. Hasil pengujian ditampilkan pada ilustrasi 7 dan tabel 7.



Ilustrasi 7. Grafik Bilangan Peroksida BSFLO

(Kontrol: limbah roti 100%; KLKP 50/20: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 50%, dan kulit kopi 20%; KLKP 45/25: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 45%, dan kulit kopi 25%; KLKP 40/30: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 40%, dan kulit kopi 30% (n = 3))

Tabel 7. Hasil Pengujian Bilangan Peroksida BSFLO

Sampel	Kadar Bilangan Peroksida (mEqO ₂ /kg)			
	Rata-rata	Median	Minimum	Maksimum
Kontrol	0.56	0.50	0.30	0.89
KLKP 50/20	0.36	0.40	0.20	0.49
KLKP 45/25	0.46	0.50	0.39	0.50
KLKP 40/30	0.59	0.50	0.49	0.79

Keterangan:

Kontrol : limbah roti 100%;

KLKP 50/20 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 50%, dan kulit kopi 20%;

KLKP 45/25 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 45%, dan kulit kopi 25%;

KLKP 40/30 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 40%, dan kulit kopi 30% (n = 3).

Hasil pengujian bilangan peroksida BSFLO menunjukkan fluktuasi yang dipengaruhi oleh variasi komposisi substrat pakan. Nilai bilangan peroksida pada kontrol sebesar 0.56 mEqO₂/kg, kemudian menurun pada KLKP 50/20% menjadi 0.36 mEqO₂/kg. Namun seiring dengan peningkatan proporsi kulit kopi, terjadi kenaikan menjadi 0.46 mEqO₂/kg pada KLKP 45/25% dan 0.59 mEqO₂/kg pada KLKP 40/30%. Secara umum, seluruh nilai bilangan peroksida masih jauh di bawah batas SNI3741:2015 sebesar 3 mEqO₂/kg untuk minyak segar, menunjukkan kualitas minyak yang baik. Hal ini sesuai dengan penelitian Chew *et al.* (2025) bahwa minyak yang diekstrak dari BSFL memiliki stabilitas oksidatif yang cukup tinggi karena komposisi asam lemak dan senyawa bioaktif dari substrat pakan.

Tingginya bilangan peroksida pada kontrol dibandingkan dengan beberapa formulasi pakan campuran disebabkan oleh karakteristik fisik dan sejarah termal limbah roti. Sebagai produk olahan yang telah melalui proses pemanggangan, lemak (margarin/minyak) dalam roti telah mengalami stress oksidatif sejak tahap produksi (Fruehwirth *et al.* 2021). Paparan panas selama pengolahan awal tersebut memicu degradasi lipid, sehingga mempermudah terbentuknya radikal bebas awal pada media pakan sebelum dikonsumsi oleh BSFL (Khaled *et al.*, 2024).

Kerusakan kimiawi ini dapat berlangsung lebih cepat akibat karakteristik struktur morfologi limbah roti yang khas. Struktur roti yang sangat berpori juga menciptakan luas permukaan yang besar sehingga mempermudah paparan lipid terhadap oksigen selama masa penyimpanan, sejalan dengan penjelasan Gumus dan Eric (2021) bahwa stabilitas oksidatif pada produk sereal sangat rentan terganggu apabila matriks pelindungnya rusak. Kondisi tersebut diperparah oleh

absennya senyawa antioksidan alami pada substrat tunggal limbah roti yang menyebabkan komponen lemak sama sekali tidak terlindungi dari serangan radikal bebas, berbeda dengan kelompok formulasi KLKP yang mendapatkan asupan polifenol penangkal oksidasi dari komponen kulit kopi (Putri *et al.*, 2026).

Disisi Lain peningkatan bilangan peroksida pada variasi KLKP berkaitan dengan bertambahnya proporsi kulit kopi yang menyumbangkan asam lemak tak jenuh ganda (*Polyunsaturated fatty acid* (PUFA)). Meskipun kulit kopi mengandung senyawa bioaktif, komponen PUFA memiliki ikatan rangkap yang sangat reaktif terhadap oksigen Ansorena *et al.* (2023). Sebaliknya, ampas kelapa yang kaya asam lemak jenuh rantai sedang bersifat sangat stabil terhadap oksidasi (Souza *et al.* 2020), sehingga dominasi ampas kelapa pada KLKP 50/20% menghasilkan bilangan peroksida terendah. Hal ini sesuai dengan penelitian Ewald *et al.* (2020) bahwa rasio asam lemak substrat memengaruhi kualitas BSFLO.

Untuk menunjukkan perbedaan komposisi asam lemak pada tiap perlakuan pakan, data profil asam lemak BSFLO disajikan pada Tabel 8 berikut:

Tabel 8. Profil Asam Lemak BSFLO

Komposisi Asam Lemak	Kontrol	Konsentrasi (%)		
		KLKP 50/20	KLKP 45/25	KLKP 40/30
Asam Lemak Jenuh (<i>Saturated Fatty Acid</i> (SFA)))				
C 8:0 (Asam Kaprilat)	0,02	0,03	0,03	0,04
C 10:0 (Asam Kaprat)	0,69	0,77	0,75	1,08
C 11:0 (Asam Undekenoat)	0,02	0,02	0,02	0,02
C 12:0 (Asam Laurat)	39,62	34,93	34,35	35,58
C 13:0 (Asam Tridekanoat)	0,03	0,03	0,03	0,02
C 14:0 (Asam Miristat)	8,14	10,02	9,98	8,70
C 15:0 (Asam Pentadekanoat)	0,04	0,07	0,06	0,06
C 16:0 (Asam Palmitat)	19,91	20,75	21,42	20,89
C 17:0 (Asam Heptadekanoat)	0,04	0,08	0,07	0,09
C 18:0 (Asam Stearat)	2,36	2,84	3,05	3,40
C 20:0 (Asam Arakidat)	0,12	0,10	0,11	0,13

Komposisi Asam Lemak	Kontrol	Konsentrasi (%)		
		KLKP 50/20	KLKP 45/25	KLKP 40/30
C 22:0 (Asam Bahenat)	nd	0,01	0,01	nd
TOTAL SFA	70,99	69,65	69,88	70,01
Asam Lemak Tak Jenuh Tunggal (<i>Monounsaturated Fatty Acid</i> (MUFA))				
Asam Lemak Omega 9 / C 18:1 W9C (C-Asam Oleic)	17,94	18,42	18,70	18,76
C 14:1 (Asam Mirisroleat)	0,22	0,19	0,18	0,12
C 15:1 (Asam Pentadekenoat)	nd	0,01	0,01	nd
C 16:1 (Asam Palmitoleat)	4,26	3,11	3,09	2,38
C 17:1 (Asam Heptadekenoat)	0,04	0,08	0,08	0,06
C 22:1 (Asam Erukat)	nd	0,00	0,00	0,01
TOTAL MUFA	22,46	21,81	22,06	21,33
Asam Lemak Tak Jenuh Ganda (<i>Polyunsaturated Fatty Acid</i> (PUFA))				
Asam Lemak Omega-3 (W3)				
C 18:3 W3 (Asam Linoleat / W3)	0,32	0,53	0,49	0,58
C 20:5 W3 (Asam Eikosapentanoat) / EPA	0,02	0,01	0,01	0,01
C 22:6 W3 (Asam Dokosanoat) / DHA	0,05	0,01	0,01	0,01
TOTAL	0,39	0,55	0,51	0,60
Asam Lemak Omega-6 (W6)				
C 18:2 W6 (Asam Linoneat / W6)				
C 20:4 W6 (Asam Arakidonat) / AA	6,02	7,68	7,37	7,92
	0,07	0,05	0,05	0,05
TOTAL	6,09	7,73	7,42	7,97
TOTAL PUFA	6,48	8,28	7,93	8,57
TOTAL UFA	28,94	30,09	29,99	29,90

Keterangan:

Kontrol : limbah roti 100%;
 KLKP 50/20 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 50%, dan kulit kopi 20%;
 KLKP 45/25 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 45%, dan kulit kopi 25%;
 KLKP 40/30 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 40%, dan kulit kopi 30%
 (n = 3).

Berdasarkan data profil asam lemak pada Tabel 9, perbedaan nilai bilangan peroksida antar perlakuan berkaitan dengan komposisi asam lemak minyak yang dihasilkan. Perlakuan KLKP 40/30% memiliki nilai bilangan peroksida tertinggi sebesar 0,59 mEq O₂/kg, sejalan dengan kandungan Total PUFA tertinggi yaitu

8,57%, yang didominasi oleh asam linoleat (C18:2) sebesar 7,92% dan asam linolenat (C18:3) sebesar 0,58%. Asam lemak tak jenuh ganda memiliki banyak ikatan rangkap yang lebih rentan mengalami oksidasi dibandingkan asam lemak jenuh, sehingga dapat meningkatkan pembentukan senyawa peroksida primer (Ansorena *et al.* 2023; Khaled *et al.* 2024).

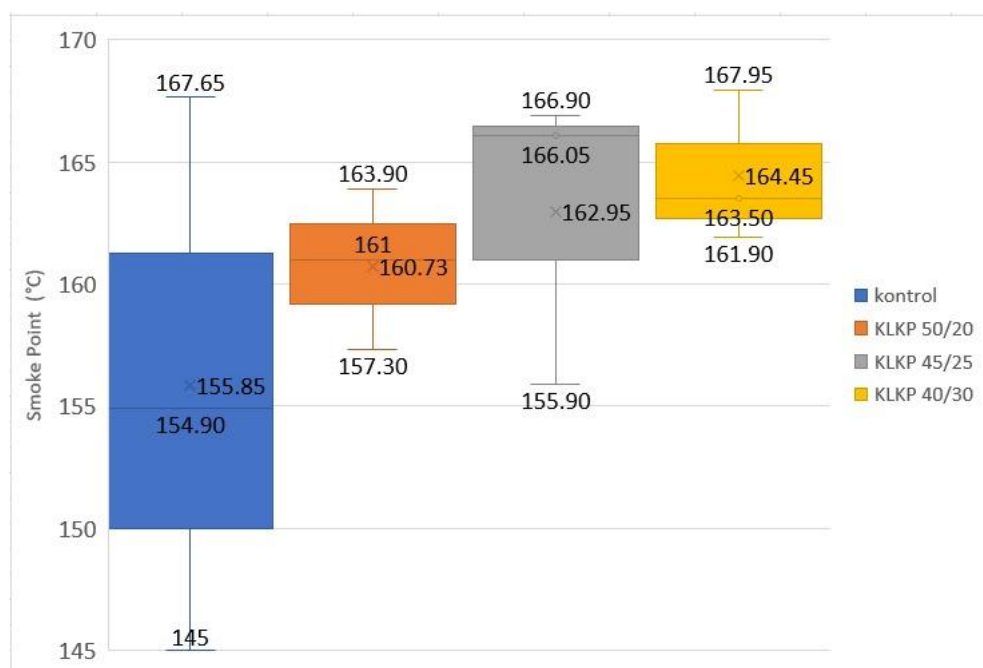
Pada perlakuan KLKP 45/25%, nilai bilangan peroksida sebesar 0,46 mEq O₂/kg juga menunjukkan kecenderungan yang sama. Meskipun kandungan Total PUFA sedikit lebih rendah (7,93%), perlakuan ini memiliki kandungan Total MUFA yang lebih tinggi, yaitu 22,06%, terutama berasal dari asam oleat (C18:1) sebesar 18,70%. Keberadaan asam lemak tidak jenuh, baik PUFA maupun MUFA, tetap berkontribusi terhadap proses oksidasi sehingga dapat memengaruhi stabilitas minyak selama penyimpanan dan paparan oksigen (Matthäus dan Musehold, 2019; Gharby *et al.*, 2025). Hal ini menunjukkan bahwa perubahan komposisi asam lemak pada BSFLO dipengaruhi oleh variasi bahan penyusun pakan (Chia *et al.*, 2020).

Sebaliknya, perlakuan KLKP 50/20% menghasilkan nilai bilangan peroksida terendah sebesar 0,36 mEq O₂/kg. Hasil ini diduga berkaitan dengan dominasi asam lemak jenuh, khususnya asam laurat (C12:0) yang mencapai 34,93%. Asam lemak jenuh memiliki stabilitas oksidatif yang lebih baik karena tidak memiliki ikatan rangkap yang mudah bereaksi dengan oksigen (Souza *et al.*, 2020). Oleh karena itu, tingginya kandungan asam lemak jenuh yang berasal dari ampas kelapa diduga berperan dalam menekan proses oksidasi sehingga menghasilkan minyak yang lebih stabil dibandingkan perlakuan lainnya (Chew *et al.*, 2025; Putri *et al.*, 2026).

Formulasi KLKP 50/20% menunjukkan nilai bilangan peroksida terendah 0.36 mEqO₂/kg, didukung dominasi ampas kelapa yang kaya asam lemak jenuh dan lebih stabil terhadap oksidasi dibandingkan PUFA. Meskipun terdapat perbedaan efektivitas antar perlakuan dengan urutan hasil yang diperoleh adalah KLKP 50/20%, KLKP 45/25%, kontrol, dan KLKP 40/30%, seluruh formulasi dalam penelitian ini menghasilkan minyak dengan kualitas stabil dan memenuhi kriteria keamanan bilangan peroksida.

4.6. Hasil Pengujian *Smoke Point* BSFLO

Hasil pengukuran *smoke point* BSFLO pada masing-masing perlakuan disajikan dalam bentuk grafik dan tabel. Nilai yang diperoleh menggambarkan pengaruh variasi substrat ampas kelapa dan kulit kopi terhadap stabilitas termal minyak. Ilustrasi 7 dan tabel 9 menunjukkan hasil pengujian *smoke point* tersebut.



Ilustrasi 7. Grafik *Smoke Point* BSFLO

(Kontrol: limbah roti 100%; KLKP 50/20: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 50%, dan kulit kopi 20%; KLKP 45/25: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 45%, dan kulit kopi 25%; KLKP 40/30: limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 40%, dan kulit kopi 30% (n = 3))

Tabel 9. Hasil Pengujian *Smoke Point* BSFLO

Sampel	Kadar <i>Smoke Point</i> (°C)			
	Rata-rata	Median	Minimum	Maksimum
Kontrol	155.85	154.90	145.00	167.65
KLKP 50/20	160.73	161.00	157.30	163.90
KLKP 45/25	162.95	166.05	155.90	166.90
KLKP 40/30	164.45	163.50	161.90	167.95

Keterangan:

Kontrol : limbah roti 100%;

KLKP 50/20 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 50%, dan kulit kopi 20%;

KLKP 45/25 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 45%, dan kulit kopi 25%;

KLKP 40/30 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 40%, dan kulit kopi 30%
(n = 3).

Hasil pengujian nilai *smoke point* BSFLO menunjukkan peningkatan seiring perubahan formulasi substrat. Kontrol memperoleh nilai terendah sebesar 155.85°C, meningkat menjadi meningkat menjadi 160.73°C pada KLKP 50/20%, 162.97°C pada KLKP 45/25%, dan tertinggi pada KLKP 40/30% sebesar 164.45°C. Nilai *smoke point* yang dihasilkan masih sejalan dengan penelitian Chang *et al.* (2025), bahwa stabilitas BSFLO dipengaruhi oleh komposisi asam lemak, kadar FFA, dan tingkat oksidasi minyak. Nilai *smoke point* BSFLO yang berada di bawah 200°C membatasi penggunaannya untuk metode *deep frying* suhu tinggi, sehingga lebih cocok untuk aplikasi suhu sedang atau bahan baku industri non-pangan (Chang *et al.* 2025).

Tingginya nilai *smoke point* berkaitan dengan rendahnya kandungan pengotor seperti kadar air, kadar protein, dan FFA. Kim *et al.* (2025) menyatakan bahwa semakin rendah kadar FFA, maka semakin tinggi suhu yang dibutuhkan untuk memicu degradasi termal dan pembentukan asap. Selain itu, rendahnya kadar FFA mencegah terjadinya penurunan energi aktivasi yang diperlukan untuk memecah ikatan kimia pada molekul minyak. Changwatcha *et al.* (2022) menambahkan bahwa FFA memiliki titik didih yang lebih rendah dibandingkan trigliserida utuh, sehingga keberadaannya dalam jumlah kecil sekalipun dapat

menurunkan titik penguapan minyak. Rendahnya residu protein dan air pada minyak juga mencegah terjadinya dekomposisi dini saat minyak dipanaskan (Tsai *et al.* 2023; Li *et al.* 2020).

Kemurnian minyak dan komposisi asam lemak sangat menentukan ketahanan termal BSFLO. Ozdemir *et al.* (2020) menjelaskan bahwa keberadaan senyawa antioksidan alami yang mungkin terakumulasi dari substrat pakan dapat membantu menstabilkan minyak. Dalam hal ini, Senyawa polifenol pada kulit kopi memberikan perlindungan tambahan yang bersifat antioksidan sehingga mampu menekan reaksi oksidasi dan menjaga integritas lipid (Hoseini *et al.* 2026). Mekanisme ini memperlambat pembentukan FFA selama proses pemanasan, karena FFA merupakan komponen utama yang menurunkan *smoke point*. Ampas kelapa berkontribusi melalui dominasi asam lemak jenuh rantai sedang, terutama asam laurat, yang memiliki ikatan lebih kuat dibandingkan PUFA sehingga lebih tahan terhadap degradasi termal (Souza *et al.*, 2020).

Meskipun nilai bilangan peroksida mengalami peningkatan akibat terbentuknya hidroperoksida sebagai produk oksidasi primer, rendahnya kadar FFA dan tingginya *smoke point* menunjukkan stabilitas termal BSFLO yang terjaga dengan baik. Formulasi KLKP 40/30% merupakan nilai *smoke point* tertinggi sebesar 164.45°C, mencerminkan stabilitas termal optimal yang didukung oleh rendahnya kandungan pengotor serta sinergi senyawa antioksidan dari kulit kopi. Secara keseluruhan, urutan rata-rata *smoke point* yang diperoleh adalah KLKP 40/30%, KLKP 45/25%, KLKP 50/20%, dan kontrol, dimana seluruh perlakuan masih berada dalam rentang standar kualitas minyak serangga yang baik.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi substrat ampas kelapa dan kulit kopi menghasilkan karakteristik fisikokimia *Black Soldier Fly Oil* (BSFLO) yang berbeda. Peningkatan proporsi kulit kopi dan penurunan proporsi ampas kelapa dalam substrat cenderung menurunkan kadar air, kadar protein, dan nilai *free fatty acid* (FFA), serta meningkatkan kadar lemak kasar dan *smoke point* BSFLO. Sementara itu, bilangan peroksida menunjukkan pola fluktuatif antar perlakuan, namun seluruh nilai yang diperoleh masih berada di bawah batas standar mutu minyak.

5.2. Saran

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan melakukan proses pemurnian yang lebih spesifik untuk meningkatkan nilai *smoke point* hingga di atas 200°C agar pemanfaatan BSFLO lebih luas. Selain itu, perlu dilakukan studi oksidasi dan perubahan profil asam lemak selama masa penyimpanan jangka panjang serta analisis hubungan antara jenis senyawa polifenol kulit kopi dengan tingkat stabilitas peroksida, agar formulasi pakan dapat dioptimalkan untuk menekan kadar air dan FFA, dan meminimalisir oksidasi primer secara bersamaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alagappan, Shanmugam., Louwrens. H., dan Daniel. C. 2026. Modelling Black Soldier Fly Larvae Growth Performance Based on Chemical Composition and Rearing Conditions—A Machine Learning Approach. Waste and biomass valorization. <https://doi.org/10.1007/s12649-026-03541-y>.
- American Oil Chemists' Society. 2017. Official method Ca 5a-40: Free Fatty Acids. AOCS Press.
- Anjani., Dan M. Khabiruddin. 2017. A review on the storage stability of edible vegetable oils. International journal of chemical studies. 5(5). 2457-2462.
- An Li., Koen. Dewettinck., Yannick. Verheust., Davy. Van. De. Walle., Katleen. Raes., Bernd. Diehl., dan Daylan A. Tzompa-Sosa. 2024. Edible insects as a novel source of lecithin: Extraction and lipid characterization of black soldier fly larvae and yellow mealworm. Food Chemistry. 452. 139391. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139391>.
- Ansorena, Diana., Rubén. Ramírez., Adela. Lopez. de. Cerain., Amaya. Azqueta., dan Iciar Astiasaran. 2023. Oxidative Stability and Genotoxic Activity of Vegetable Oils Subjected to Accelerated Oxidation and Cooking Conditions. Foods. 12(11). 2186. <https://doi.org/10.3390/foods12112186>.
- AOAC International. 2019. Official Method 981.10. Crude Protein in Foods and Feeds. In official methods of analysis of AOAC International (21st ed). AOAC International.
- Akwa, Teh. Exodus., Honorine. Ntangmo. Tsafack., Lucy. Gitau., dan Leon Tapondjou. Azefack. 2025. Black Soldier Fly Larva: A Resource Insect Larva Worth Promoting in Achieving Sustainable Development Goals A Systematic Review. 1. <https://doi.org/10.69709/SustainFoodConn.2025.138493>.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. Minyak Kelapa Mentah. (SNI 2902:2011). Jakarta: BSN.
- Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. A. 2017. Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed: A review. Journal of Insects as Food and Feed. 3(2). 105–120. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.005>.
- Bao, Yifan., dan Marc. Pignitter. 2023. Mechanisms of lipid oxidation in water-in-oil emulsions and oxidomics-guided discovery of targeted protective approaches. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 22(4). 2678–2705. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13158>.
- Bekker, Nicolai. S., Soren. H., Sofie. Z. V., Morten. E. N., Marie. R., Emil. J. Z., Simon. B., dan Neils. T. E. 2021. Impact of substrate moisture content on

- growth and metabolic performance of black soldier fly larvae. Waste management. 127(15). 73-79. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.028>.
- Bogevik, Andre. Sture., Seppänen-Laakso. Tuulikki., Samuelson. Tor. Andreas., Thoresen. Lars. 2022. Fractionation of Oil from Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*). European journal of lipid science and technology. 124(5). 1-6. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202100252>.
- Bonelli, M., Bruno. D., Caccia. S, Sgambetterra. G., Cappelozza. S., Jucker. C., Tettamanti. G., dan Casartelli. M. 2019. Structural and Functional Characterization of *Hermetia illucens* Larval Midgut. Front. Physiol. 10. 204. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00204>.
- Cai, Minmin., Li Li., Zhengzheng. Zhao., Ke. Zhang., Fang. Li., Chan. Yu., Rongfang Yuan., Beihai. Zhou., Zhuqing. Ren., Ziniu. Yu., and Jibin. Zhang. 2022. Morphometric Characteristic of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Wuhan Strain and Its Egg Production Improved by Selectively Inbreeding. Life. 12(6). 873. <https://doi.org/10.3390/life12060873>.
- Cammack, Jonathan., dan Jeffery. K. Tomberlin. 2017. The Impact of Diet Protein and Carbohydrate on Select Life-History Traits of The Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). Insect. 8(2). 56. <https://doi.org/10.3390/insects8020056>.
- Carpentier, Joachim., Clément. Martin., Hugo. Luttenschlager., Nicolas. Deville., Donatella. Ferrara., Giorgia. Purcaro., Christophe. Blecker., Frédéric. Francis., dan Rudy. Caparros. Megido. 2024. Common soluble carbohydrates affect the growth, survival, and fatty acid profile of black soldier fly larvae *Hermetia illucens* (Stratiomyidae). Scientific Reports. 14. 28157. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-75730-5>.
- Cattaneo, A., Meneguz. M., dan Dabbou. S. 2023. The fatty acid composition of black soldier fly larvae: the influence of feed substrate and applications in the feed industry. Journal of Insects as Food and Feed. 10(4). 533-558. <https://doi.org/10.1163/23524588-20230068>
- ČengiĆ-Džomba, S., Džomba, E., Muratović, S., dan Hadžić, D. 2020. Using of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Meal in Fish Nutrition. In IFMBE Proceedings. 129-134. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-40049-1_17.
- Chang, Kian. Aun., Sze. Ying. Leong., Lye. Yee. Chew., Ching. Qi. Lim., Meng. Jack. Lim., Zongwei. Ong., dan Sook. Wah. Chan. 2025. Physicochemical and Perceived Olfactory Changes in Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Oil Under Domestic Cooking Temperatures. Foods. 14. 2333. <https://doi.org/10.3390/foods14132333>.
- Changwatchai, Teetach., Mitsutoshi. Nakajima., Lorena. de. Oliveira. Felipe., dan Marcos A. Neves. 2022. Separation of Free Fatty Acid and Triglycerides by

- Molecular Distillation–Experimental and Simulation Approaches. *Processes*. 10(10). 2053. <https://doi.org/10.3390/pr10102053>.
- Chia, Shaphan. Y., Chrysantus. M. Tanga., Isaac. M. Osuga., Xavier. Cheseto., Sunday. Ekesi., Marcel. Dicke., dan Joop. J. A. van. Loon. 2020. Nutritional composition of black soldier fly larvae feeding on agro-industrial by-products. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 168(6-7). 472-481. <https://doi.org/10.1111/eea.12940>.
- Chew, Zhi. Ling., Yin. Leng. Kua, Jun. Kit. Mah., Niroshiny. Ra., Terri. Zhuan. Ean. Lee., dan Samuel. Kian. Chee. Yap. 2025. Temperature-Controlled Mechanical Pressing of Black Soldier Fly Larvae (BSFL): Yields and Qualities of Oil and Protein Meal. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 102(10). 1501-1512. <https://doi.org/10.1002/aocs.70007>.
- Cova., Camilla. Maria., Alessio. Zuliani., dan Nouredine. Khia. 2026. Carbohydrate-Based Hydrogels: Weaving Nature's Versatility into Biomedical Innovation. *International Journal of Nanomedicine*. 21. 564814. <https://doi.org/10.2147/IJN.S564814>.
- Cruz, Vanessa. A., Carolina. M. V., Danielle. R. M., dan Alessandra. Lopes. de Oliveira. 2025. Extraction, characterization, and use of edible insect oil – A review. *Food chemistry*. 463. 141199. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.141199>.
- da Silva, G.D.P., dan Hesselberg, T. 2020. A Review of the Use of Black Soldier Fly Larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), to Compost Organic Waste in Tropical Regions. *Neotrop* <https://doi.org/10.1007/S13744-019-00719-Z>.
- Da Silva., Natallya. Marques. Gabriel. Cicalese. Bevilaqua., Camila. Da. Silva., Marcus. Bruno Soares. Forte., Andresa. Carla. Feihrmann., dan Lucio. Cardozo. Filho. 2025 Obtaining and characterization of flour and oil from black soldier fly (*Hermetia illucens*) and yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae for human consumption. *Applied Food Research*. 5(2). 101359. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.101359>.
- Divariu, Lenuta., Cristian-Alin. Barbacariu., Marian. Burducea., dan Daniel. Simeanu. 2025. Feed Sources for Sustainable Aquaculture: Black Soldier Fly Larvae (BSFL). *Fishes*. 10(9). 464. <https://doi.org/10.3390/fishes10090464>.
- Emebu, Samuel., Omokaro. O., Aleks. Mankonen., Chinweike. Udoeye., Charity. Okieimen., dan Dagmar. Janáčová. 2022. Influence of moisture content, temperature, and time on free fatty acid in stored crude palm oil. *Scientific Reports*. 12. 9846. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-13998-1>.
- Endo, Yasushi. 2018. Analytical Methods to Evaluate the Quality of Edible Fats and Oils: The JOCS Standard Methods for Analysis of Fats, Oils and Related Materials (2013) and Advanced Methods. *Journal of Oleo Science*. 67(1). 1-10. <https://doi.org/10.5650/jos.ess17130>.

- Eriksen, Neils. Thomas. 2024. Metabolic performance and feed efficiency of black soldier fly larvae. *Bioengineering and Biotechnology*. 12. 1397108. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1397108>.
- Ewald, N., Vidakovic, A., Langeland, M., Kiessling, A., Sampels, S., dan Lalander, C. 2020. Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – Possibilities and limitations for modification through diet. *Waste Management* 102, 40–47. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2019.10.014>.
- Fischer, Hayden., Nicholas. Romano., dan Sinha. A.K. 2021. Conversion of Spent Coffee and Donuts by Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae into Potential Resources for Animal and Plant Farming. *Insects*. 12. 332. <https://doi.org/10.3390/insects12040332>.
- Fischer, H., dan Romano, N. 2021. Fruit, vegetable, and starch mixtures on the nutritional quality of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae and resulting frass. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(3), 319-328. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0100>.
- Franco, Antonio., Carmen. Scieuzo., Rosanna. Salvia., Anna. Maria. Petrone., Elena. Tafi., Antonio. Moretta., Eric. Schmitt., dan Patrizia. Falabella. 2021. Lipids from *Hermetia illucens*, an Innovative and Sustainable Source. *Sustainability*. 13(18). 10198. <https://doi.org/10.3390/su131810198>.
- Fruehwirth, Sarah., Sandra. Egger., Dennis. Kurzbach., Jakob. Windisch., Franz. Jirsa., Thomas. Flecker., Miriam Ressler., Agnes. T. Reiner., Nesrin. Firat., dan Marc. Pignitter. 2021. Ingredient-Dependent Extent of Lipid Oxidation in Margarine. *Antioxidants*. 10(1). 105. <https://doi.org/10.3390/antiox10010105>.
- Gatlin, Delbert. M., III. Pedro. L. P. F. D. C., Casey. F., Chelsea. M., Jeffery. K. T. 2024. Evaluation of lauric acid enhancement of black soldier fly larvae from coconut. *Journal of economic entomology*. 117(4). 1235-1241. <https://doi.org/10.1093/jee/toae093>.
- Gharby, Said. 2022. Refining Vegetable Oils: Chemical and Physical Refining. *The scientific world journal*. 2022. 1-10. <https://doi.org/10.1155/2022/6627013>.
- Gharby, Said., Abderrahim. Asbbane., Moussa. Nid. Ahmed., Jamila. Gagour., Otmane. Hallouch., Samira. Oubannin., Laila. Bijla., Khan. Wen. Goh., Abdelhakim. Bouyahya., dan Mohamed. Ibourki. 2025. Vegetable oil oxidation: Mechanisms, impacts on quality, and approaches to enhance shelf life. *Food Chemistry:X*. 28. 102541. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.102541>.
- Giannetto, Alessia., Sabrina. Oliva., Carlos. Frederico. Ceccon. Lanes., Fabio. De. Araújo. Pedron., Domenico. Savastano., Cosimo. Baviera., Vincenzo. Parrino., Giuseppe. Lo. Paro., Nunzia. Carla. Spanò., Tiziana. Cappello., Maria. Maisano., Angela. Mauceri., dan Salvatore. Fasulo. 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*. 307. 44-54. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.10.015>.
- Giyesi, Natsir. Sandiah., Fuji. Astuty. Auza. 2025. Kadar Nutrien Larva BSF (*Black Soldier Fly, Hermetia Illucens*) yang Diberi Substrat Limbah Organik Berbeda. *Jurnal Ilmiah Peternakan Halu Oleo*. 7(1). 76-83. DOI: 10.56625/jipho.v7i1.60
- Guillaume, J. B., J. L. Da. Lage., S. Mezdoor., F. Marion-Poll., C. Terrol., C. M. C. Brouzes., P. Schmidely. 2024. Amylase Activity Across Black Soldier Fly Larvae Development and Feeding Substrates: Insights on Starch Digestibility and External Digestion. *The international journal of animal biosciences*. 18(11). 101337. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101337>.
- Gumus, Cansu. Ekin., dan Eric. Andrew. Decker. 2021. Oxidation in Low Moisture Foods as a Function of Surface Lipids and Fat Content. *Foods*. 10(4). 860. <https://doi.org/10.3390/foods10040860>.
- Gurusinga, F.F., Hurka, S., Kreft, D. Kreft., Till. Röthig., Andreas. Vilcinskis., and Dorothee. Tegtmeier. 2026. Diet chemistry and cross-kingdom microbiota associate with black soldier fly larvae performance on regional side streams. *anim microbiome*. 8. 20. <https://doi.org/10.1186/s42523-025-00509-6>.
- 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.
- Goswami, Hetsi., Ashok. Kumar. Bishoyi., dan Gaurav. Sanghvi. 2025. Enhancing functional and nutritional properties of wheat-based bakery products using microbial lipases. *Food Chemistry: X*. 33.103435. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2025.103435>.
- Haskaraca, Guliz., Ezgi. İnal., Gizem. Melissa. Erdem., Esmâ. Nur. Recalar., Gamze. Guney. Eskiler., Abdil. Ozdemir., Semanur. Yildiz., Tamer. Calikoglu., dan Zehra. Ayhan. 2025. Impact of killing and drying methods on physicochemical and functional properties of black soldier fly larvae (BSFL) oil. *Food Chemistry*. 489. 144978. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.144978>.
- Hoc, B., Genva, M., Fauconnier, M. L., Lognay, G., Francis, F., & Caparros Megido, R. (2020). About lipid metabolism in *Hermetia illucens* (L. 1758): on the origin of fatty acids in prepupae. *Scientific Reports*. 10. 11916. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68784-8>.
- Hoseini, Marziyeh., Farideh. Feghhenabi., dan Ghasem. Ashouri. 2026. Production of a nutrient-rich organic amendment via bioconversion of coffee

- husk by black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae. *Notulae Scientia Biologicae*. 18(1). 12838. <https://doi.org/10.55779/nsb18112838>.
- Huang, Lin., Bo. Wang., Licheng. Liu., dan Armando. Borgna. 2023. Liquid-Phase Dehydration of Glycerol to Acrolein with ZSM-5-Based Catalysts in the Presence of a Dispersing Agent. *Molecules*. 28(8). 3316. <https://doi.org/10.3390/molecules28083316>.
- Hurtado-Ribeira, R., Villanueva, B. D., García, R. M.R., Hernández, M.D., Sánchez, M. M.J., Fornari, T., Vázquez, L., dan Martin, D. 2023. Evaluation of the interrelated effects of slaughtering, drying, and defatting methods on the composition and properties of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae fat. *Curr https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100633*. *Res Food Sci* 7
- Hutabarat, Donald. J. C., dan Dave. M. 2024. Cultivation of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae for the Valorization of Spent Coffee Ground: A Systematic Review and Bibliometric Study. *Agriculture*. 14(2). 205. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020205>.
- Ibrahim, S., Hashim. A., El. Said. A. Dan Tamer. Hamouda. 2026 Utilization of plant derived natural antioxidants and nanofiber mats to improve oxidative stability and extend food shelf life. *Discovery Food*. 6. 116. <https://doi.org/10.1007/s44187-026-00816-0>.
- International Organization for Standardization (ISO). 2016. ISO 662:2016. Animal and Vegetable Fats and Oils – Determination of Moisture and Volatile Matter Content. Geneva:ISO.
- Jaya, Darma. Jaka., dan Khairiah. 2025. Quality Evaluation and Causal Analysis of Crude Palm Oil Based on Critical Quality Parameters: Free Fatty Acids, Moisture, and Impurities. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*. 12(1). <https://doi.org/10.34128/jtai.v12i1.227>.
- Jiang, S. Y., Shen, K. W., Brandón, M. G., Lu, S. B., Tomberlin, J. K., Tang, X. T., Wang, H., Xiang, F. M., Chen, X. X., dan Zhang, Z. J. 2025. Using black soldier fly larval frass to restore soil health. *Bioresource Technology*. 432. 132701. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.132701>
- Keshaini, Shunmugham., Idris. Zainab-L., dan Kumar. Sudesh. 2025. Black soldier fly larval oil as a renewable substrate for tailored PHA production. *Scientific reports*. 16. 489. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-30033-1>.
- Kierończyk, B., Sypniewski, J., Mikołajczak, Z., Rawski, M., Pruszyńska Oszmałek, E., Sassek, M., Kołodziejcki, P., dan Józefiak, D. 2022. Replacement of soybean oil with cold-extracted fat from *Hermetia illucens* in young turkey diets: Effects on performance, nutrient digestibility, selected organ measurements, meat and liver tissue traits, intestinal microbiota modulation, and physiological and immunological status. *Anim Feed Sci Technol* 286. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115210>.

- Kim, Myung. Il., Jong-Bae. Baek., dan Mi. Jeong. Lee. 2025. Experimental Study on Thermal Properties and Fire Risk According to Acid Value Change in Palm Oil. *Fire*. 8(1). <https://doi.org/10.3390/fire8010025>.
- Khaekratoke, Kanyanat., Parichart. L., dan Anchana. T. 2022. Use of fermented spent coffee grounds as a substrate supplement for rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* (L), (Diptera: Stratiomyidae). *PeerJ*. 10. 14340. DOI 10.7717/peerj.14340.
- Khaled, B. M., Mrityunjoy. Biswas., Adda. Ann. Sina., Asraful. Alam., Md. Abdul. Alim., Md. Emran. Hossain., Md. Nazmus. Saqib., Md. Suman. Rana., dan Sumia. Rahman. Sweet. 2024. Detection of the changes in fatty acid composition and physicochemical properties in selected edible oils heated at different degrees of time. *Food Chemistry Advances*. 4. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100716>.
- Lalander, C., Diener, S., Zurbrügg, C., & 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. 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>.
- Li, Qingyun., Jiabao. Zheng., Ge. Ge., Mouming. Zhao., dan Lianzhu. Lin. 2020. Impact of heating treatments on physical stability and lipid-protein co-oxidation in oil-in-water emulsion prepared with soy protein isolates. *Food Hydrocolloids*. 96. 655-672. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.06.012>.
- Liu, Xiu., Xuan. Chen., Hui. Wang., Qinqin. Yang., Kashif. Ur. Rehman., Wu. Li., Minmin. Cai., Qing. Li., Lorenzo. Mazza., Jibin. Zhang., Ziniu. Yu., dan Longyu. Zheng. 2017. Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLoS ONE*. 12(8). 182601. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>.
- Lu, Yan., Shouyu Zhang., Shibo. Sun., Minghuo. Wu., Yongming. Bao., Huiyan. Tong., Miaomiao. Ren., Ning. Jin., Jianqiang. Xu., Hao. Zhou., dan Weiping. Xu. 2021. Effects of Different Nitrogen Sources and Ratios to Carbon on Larval Development and Bioconversion Efficiency in Food Waste Treatment by Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*). *Insect*. 12(6). 507. <https://doi.org/10.3390/insects12060507>.
- Mahesar, S. A., Shah, S. N., H Sherazi, S. T., Nizamani, S. M., Kandhro, A. A., & Chang, A. S. 2017. Outcome of Refining on the Physicochemical Properties of Cottonseed Oil. *J. Anal. Environ. Chem*, 18(2), 105–111. <https://doi.org/10.21743/pjaec/2017.12.10>.
- Mahmudah, Khoirul., dan Vivin. Nopiyanti. 2019. Penetapan Kadar Asam Lemak Bebas (Alb) Pada Minyak Goreng Kemasan Dan Minyak Goreng Curah Dengan Perlakuan Berdasarkan Lama Waktu Pemanasan. *Cerata Jurnal ilmu farmasi*. 10(1). <https://doi.org/10.61902/cerata.v10i1.67>.

- Mai, Huynh. Cang., Ngoc. Duy. Dao., Tri. Duc. Lam., Bao. Viet. Nguyen., Duy. Chinh. N., dan Long. G. B. 2019. Purification Process, Physicochemical Properties, and Fatty Acid Composition of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* Linnaeus) Larvae Oil. Journal of American Oil Chemists Society. 96(11). <https://doi.org/10.1002/aocs.12263>.
- Malaysian Palm Oil Board. 2004. MPOB test method p2.3:2004: Peroxide value. MPOB.
- Matthäus, B., dan Musehold, J. 2019. The Role of Water in the Oxidative Stability of Oils and Fats. European Journal of Lipid Science and Technology, 121(4), 1800345. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201800345>.
- Mannucci, Pier. M., Jolliet. O., Meijaard. E., Slavin. J., Rasetti. M., Aleta. A., Moreno. Y., dan Agostoni. C. 2023. Sustainable nutrition and the case of vegetable oils to match present and future dietary needs. Front. Public Health 11.1106083. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1106083>.
- Manyapu, Viviek., dan Yo-chia. Chen. 2026. Substrate-driven nutrient assimilation and microbiome shifts in black soldier fly larvae fed with guava pulp and pork fat. Bioresource Technology Reports. 34. 102665. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2026.102665>
- Nguyen, T. T. X., Tomberlin, J. K., & Vanlaerhoven, S. (2020). Ability of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae to recycle food waste. Environmental Science and Pollution Research, 27, 40676–40687.
- Novo, G. S. G., Eduardo. C. T., Roberta. C. S. T., dan Florencia. C. 2024. Production of protein-enriched bread through the incorporation of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. Food Science and Technology. 44. DOI: <https://doi.org/10.5327/fst.00391>.
- Nyakeri, E. M., H. J. O. Ogola., M. A. Ayieko., and F. A. Amimo. 2017. Valorisation of organic waste material: growth performance of wild black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on different organic wastes. Journal of insect as food and feed. 3(3). 193-202. <http://www.wageningenacademic.com/doi/pdf/10.3920/JIFF2017.0004>.
- Okwuosa, Raissa., Wilfred. T. Mabusela., Roland. N. M. M., dan Leslie. F. Petrik. 2023. The isolation and characterization of lipid compounds from black soldier fly larvae. European journal of lipid science and technology. 125(8). 230007. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202300071>.
- Ozdemir, Halime., Emre. B., dan Issa. J. 2020. Effect of seed roasting on oxidative stability and antioxidant content of hemp seed oil. Journal of food science and technology. 58(7). 2606-2616. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04767-x>.

- Padmanabha, Murali., Alexander. Kobelski.,Arne-Jens. Hempel., dan Stefan. Streif. 2023. Modelling and optimal control of growth, energy, and resource dynamics of *Hermetia illucens* in mass production environment. *Computers and Electronics in Agriculture*. 206. 107649. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107649>.
- Parodi, A., De Boer, I. J. M., Gerrits, W. J. J., Van Loon, J. J. A., Van Heugten, E., Van Zanten, H. H. E., Erb, K. H., & Oosting, S. J. (2020). Bioconversion efficiencies, greenhouse gas and ammonia emissions during black soldier fly rearing – A mass balance approach. *Journal of cleaner production*, 271, 122488. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122488>.
- Patil, Umesh., dan Soottawat. Benjakul. 2017. Characteristics of albumin and globulin from coconut meat and their role in emulsion stability without and with proteolysis. *Food Hydrocolloids*. 69. 220-228. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.02.006>.
- Patterson, P. H., Acar, N., Ferguson, A. D., Trimble, L. D., Sciubba, H. B., dan Koutsos, E. A. 2021. The impact of dietary Black Soldier Fly larvae oil and meal on laying hen performance and egg quality. *Poultry science*, 100(8), 101272.
- Petrović, Z., Mihajlović, J., Botić, T., Lazić, D., Fazlić, A., dan Ćebić, A. 2023. Possibility of bleaching sunflower oil with synthetic zeolite. *Technologica acta* 15, 25–31. <https://doi.org/10.51558/2232-7568.2022.15.2.25>.
- Pietro, Maria. E. D., Alberto. M., dan Andrea. M. 2020. NMR Determination of Free Fatty Acids in Vegetable Oils. *Processes*. 8 (4). 410. doi:10.3390/pr8040410.
- Pimentel, Andre. C., Aurora. M., Daniele. B., dan Gianluca. T. 2017. Metabolic adjustment of the larval fat body in *Hermetia illucens* to dietary conditions. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 20(4). 1307-1313. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2017.09.017>.
- Putra, Ramadhani. E., Yeyen. F., Agus. D. P., Ida. K., dan Mia. R. 2021. Omega-3 Content Of Black Soldier Fly Prepupa (*Hermetia Illucens*) Fed With Marine Fish Offal And Tofu Dreg. *Biotropia*. 28(1). <https://doi.org/10.11598/btb.2021.28.1.1082>.
- Putri, S.A., Arrazi, M.Z., Unadirekkul, P., Zhang, Q., Kenéz, A., Putra, R.E., Melani, L., Puniamoorthy, N., & Abduh, M.Y. 2026. Enzymatic hydrolysis of black soldier fly larvae oil enhances antimicrobial and antioxidant properties across different strains. *Journal of Insects as Food and Feed*. <https://doi.org/10.1163/23524588-bja10383>.
- Rampure, Subhashini. Manjunatha., dan Krishnakumar. Valeyudhannair. 2023. Influence of agricultural wastes on larval growth phases of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): An integrated approach.

- Journal of applied and natural science. 15(2). 860-869.
<https://doi.org/10.31018/jans.v15i2.4656>.
- Rebollo-Hernanz, Miguel., Yolanda. Aguilera., Alicia. Gil-Ramírez., Vanesa. Benítez., Silvia. Cañas., Cheyenne. Braojos., dan Maria. A. Martin-Cabrejas. 2023. Biorefinery and Stepwise Strategies for Valorizing Coffee By-Products as Bioactive Food Ingredients and Nutraceuticals. Appl. 13(14). 8326.
<https://doi.org/10.3390/app13148326>.
- Richter, Hadas., Ofer. Gover., dan Betty. Schwartz. 2023. Anti-Inflammatory Activity of Black Soldier Fly Oil Associated with Modulation of TLR Signaling: A Metabolomic Approach. International journal of Molecular Sciences. 24(13). 10634. <https://doi.org/10.3390/ijms241310634>.
- Rojali., Suparmin., Desembra. L., dan Indah. R. 2024. Utilization of Liquid Waste from Tofu Production Using Anaerobic Methods for Biogas. Gema lingkungan kesehatan. 22(2). 95-105.
<https://doi.org/10.36568/gelinkes.v22i2.185>.
- Rudianto, R., Nugroho, R. A., Mardianto, N., & Pamela. (2025). Wound healing performance of nanochitosan-based ointment derived from black soldier fly larvae exuviae: In vivo assay on *Mus musculus* L. Brazilian Journal of Biology, 85, e292966. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.292966>.
- Qiu, Zongsheng., Qiyu. Xu., Chou. Min. Chong., dan Clement. R. de. Cruz. 2026. Lecithin-enriched diet improves growth performance, lipid metabolism and disease resistance in giant river prawn (*Macrobrachium rosenbergii*). 611. 743016. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.743016>.
- Queiroz, Lucas. S., Federico. Casanova., Aberham. Hailu. Feyissa., Flemming. Jessen., Fatemeh. Ajalloueian., Italo Tuler. Perrone., Antonio. Fernandes. de. Carvalho., Mohammad. Amin. Mohammadifar., Charlotte. Jacobsen., dan Betül Yesiltas. 2021. Physical and Oxidative Stability of Low-Fat Fish Oil-in-Water Emulsions Stabilized with Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Protein Concentrate. Foods. 10(12). 2977.
<https://doi.org/10.3390/foods10122977>.
- Ravi., Harish. K., Côme. Guidou., Jérôme. Costil., Christophe. Trespeuch., Farid. Chemat., dan Maryline. Abert. Vian. 2021. Novel Insights on the Sustainable Wet Mode Fractionation of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) into Lipids, Proteins and Chitin. Processes. 9(11). 1888.
<https://doi.org/10.3390/pr9111888>.
- Rehman, Kashif. Ur., Clemens. H., Karin. W., Rashid. Ur. R., Asif. Ur. R., Jibin. Z., Longyu. Z., Theresa. N., Volker. H., and Kemal. A. 2022. Black soldier fly, *Hermetia illucens* as a potential innovative and environmentally friendly tool for organic waste management: A mini-review. Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy. 41(1). 81-97.
<https://doi.org/10.1177/0734242X221105441>.

- Ruschioni, Sara., Daniele. Duca., Lorenzo. Corsi., Ike. Olivotto., Francesca. Tulli., Danilo. Basili., Matteo. Zarantoniello., Simona. Naspetti., Gloriana Cardinaletti., Cristina. Truzzi., Nunzio. Isidoro., dan Paola. Riolo. 2024. Evaluation of Growth Performance and Environmental Impact of *Hermetia illucens* Larvae Reared on Coffee Silverskins Enriched with *Schizochytrium limacinum* or *Isochrysis galbana* Microalgae. 14. 604. <https://doi.org/10.3390/ani14040609>.
- Salahuddin, M., Abdel-Wareth, A. A., Hiramatsu, K., Tomberlin, J. K., Luza, D., and Lohakare, J. (2024). Flight toward sustainability in poultry nutrition with black soldier fly larvae. *Animals*, 14(3), 510. <https://doi.org/10.3390/ani14030510>.
- Salam, Muhammad., Amina. Shahzadi., Huaili. Zheng., Fakhri. Alam., Ghulam. Nabi., Shi. Dezhi., Waheed. Ullah., Sumbal. Ammara., Nisar. Ali., dan Muhammad. Bilal. 2022. Effect of different environmental conditions on the growth and development of Black Soldier Fly Larvae and its utilization in solid waste management and pollution mitigation. *Environmental technology & innovation*. 28. 102649. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102649>.
- Schneider, L., B. Kisinga., N. Stohr., T. Stiem., S. Cord-Landwehr., E. Schulte-Geldermann., B. M. Moerschbacher., R. Jha., K. Eder., C. Lambertz., dan G. Dusel. 2025. Performance and nutrient composition of black soldier fly larvae fed diets with various protein concentrations throughout the life cycle. *Animal*. 19(10). <https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101637>.
- Seyedalmoosavi, M.M., Mielenz, M., Veldkamp, T., Gurbuz. D., dan Cornelia. C. M. 2022. Growth efficiency, intestinal biology, and nutrient utilization and requirements of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae compared to monogastric livestock species: a review. *J Animal Sci Biotechnol*. 13(31). <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00682-7>.
- Shu, Mung. Kwan., Cheuk. M. L., William. E. F., Qianjun. H., Sophie. S. dan Akos. K. 2024. Antibacterial properties of oil extracts of black soldier fly larvae reared on bread waste. *Animal production science*. 64(8). <https://doi.org/10.1071/AN23394>.
- Sideris, Vassilios., Maria. Georgiadou., Georgios. Papadoulis., Konstantinos. Mountzouris., and Antonios Tsagkarakis. 2021. Effect of Processed Beverage By-Product-Based Diets on Biological Parameters, Conversion Efficiency and Body Composition of *Hermetia illucens* (L) (Diptera: Stratiomyidae). *Insect*. 12. 475. <https://doi.org/10.3390/insects12050475>.
- Sitepu, Eko. K., Sabarmin. Perangin-angin., Gloria. J. Ginting., Siti. Machmudah., Rodiah. N. Sari., dan Juliati. Br. Tarigan. 2023. Controlled crushing device-intensified direct biodiesel production of Black Soldier Fly larvae. *Heliyon*. 9(6). e16402. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16402>.
- Srisuksai, Krittika., Paviga. Limudomporn., Uthaiwan. Kovitvadhi., Khunakon. Thongsuwan., Wittha. Imaram., Ratchaphon. Lertchaiyongphanit., Tharinee.

- Sareepoch., Attawit. Kovitvadhi., dan Wirasak. Fungfuang. 2024. Physicochemical properties and fatty acid profile of oil extracted from black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Veterinary World*. 17(3). 518-526. www.doi.org/10.14202/vetworld.2024.518-526.
- Sukmawati, Dalia., Amadea. R., Novitasari. P., Sihombing. Y. C., Mareta. A., Buulolo. Y. E. C., Supiyani. A., Nurdjayadi. M., Nurhidayat. D., Rahman. R. A., Sulistiyani. dan Setiarto. R. H. B. 2023. Isolation and Screening Microorganisms from Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) that Producing Amylase, Protease and Cellulase. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*. 9(11). 9784–9793. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i11.4516>.
- Song. Ziyi., Alus. M. X., dan Fajun. Yang. 2018. Regulation and Metabolic Significance of De Novo Lipogenesis in Adipose Tissues. 10(10). 1383. <https://doi.org/10.3390/nu10101383>.
- Souza., Eliane. F. D., Ronaldo. D. S. S., Mikaelly. N. S., Cinthia. A. D. A. S., dan Antonio. R. F. 2020. Evaluation of oxidative stability, fatty acid profile and quality physico-chemical parameters of Brazil nut, coconut and Palm oils. *Ciência E Natura*. 42(19) 1-13. <https://doi.org/10.5902/2179460X40894>.
- Truzzi, Cristina., Elisabetta. G., Anna. A., Matteo. A., Silvia. I., Giuseppe. S., Paola. R., Nunzio. I., Carla. C., Matteo. Z., Renato. C., dan Ike. O. 2020. Fatty acids profile of black soldier fly (*Hermetia illucens*): Influence of feeding substrate based on coffee-waste silverskin enriched with microalgae. *Animal feed science and technology*. 259. 114309. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114309>.
- Tsai, Yi-Hsiou., Donyau. Chiang., Yu-Ting. Li., Tsong-Pyng. Perng., Sanboh. Lee. 2023. Thermal Degradation of Vegetable Oils. *Foods*. 12(9). 1839. <https://doi.org/10.3390/foods12091839>.
- Van Heugten, E., Martinez, G., McComb, A., dan Koutsos, L. 2022. Improvements in performance of nursery pigs provided with supplemental oil derived from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Animals*, 12(23), 3251. <https://doi.org/10.3390/ani12233251>.
- Veronika, N., & Sihotang, A. J. 2023. Pengaruh konsentrasi bleaching earth pada proses pembuatan minyak goreng sawit (palm olein). *Jurnal Sains dan Ilmu Terapan*, 6(1), 36-42.
- Vieira, F., Santana. H. E., Jesus. M., Santos. J., Pires. P., Vaz-Velho. M., Silva. D., dan Ruzene. D. 2024. Coconut waste: Discovering sustainable approaches to advance a circular economy. *Sustainability*. 16(7). 3066. <https://doi.org/10.3390/su16073066>.
- Wang, Jingyi., Junyu. Tang., Shaolong. Ruan., Ruiling. Lv., Jianwei. Zhou., Jinhui. Tian., Huan. Cheng., Enbo. Xu., dan Donghong. Liu. 2021. A comprehensive review of cereal germ and its lipids: Chemical composition,

- multi-objective process and functional application. Food Chemistry. 362. 130066. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130066>.
- World Wide Fund for Nature. 2021. Driven to waste: The global impact of food loss and waste on farms. WWF. https://wwf.panda.org/discover/our_focus/food_practice/food_loss_and_waste/driven_to_waste_global_food_loss_on_farms/.
- Wong, Chung. Y., Muhammad. N. M. A., Hanita. D., Man. K. L., Ching. S. Y., Hadura. A. H., Siewhui. C., Pau. L. S., Oetami. D. H., Yeek. C. H., Pei. S. G., Husnul. K., Guan-Ting. P., dan Jun. W. L., 2020. In-Situ Yeast Fermentation to Enhance Bioconversion of Coconut Endosperm Waste into Larval Biomass of *Hermetia illucens*: Statistical Augmentation of Larval Lipid Content. Sustainability. 12(4). 1558. <https://doi.org/10.3390/su12041558>.
- Wrasiati, L. P., Putra, I. G. A. M., Yuarini, D. A. A., & Saraswati, I. G. A. K. W. (2025). Development of nutrient-rich cookies using black soldier fly (BSF) flour. Journal of Insects as Food and Feed, 11(11), 1919-1932. <https://doi.org/10.1163/23524588-00001165>.
- Xiang, Fangming., Qian. Z., Xinhua. X., Zhijian. Z. 2024. Black soldier fly larvae recruit functional microbiota into the intestines and residues to promote lignocellulosic degradation in domestic biodegradable waste. Environ Pollut. 340 (1). 122676. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122676>.
- Xiong, J., Mao, J., Wang, T., Feng, W., Wang, W., Yang, C., Miao, X., & Wang, C. 2020. Refining and sulfurization of oil from black soldier fly and its application as biodegradable lubricant additive. Journal American Oil Chemist Society, 97(11), 1243-1251. <https://doi.org/10.1002/aocs.12403>.
- Yakti, Wael., Marcus. M., Martina. K., Inga. M., Dennis. D., dan Christian. U. 2023. Physical Properties of Substrates as a Driver for *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Growth. Insect. 14(3). 266. <https://doi.org/10.3390/insects14030266>.
- Yang, Fangchun., & Tomberlin, J. K. 2020. Comparing selected life-history traits of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae produced in industrial and bench-top-sized containers. Journal of Insect Science. 20(5). 1–6. <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa113>.
- Yaping., Lv., Zhan. Ye., Zuqing. Zhang., dan Yuanfa. Liu. 2026. Effect of free fatty acids with different chain lengths and unsaturation degrees on hazardous compounds in canola oil cooking fumes. Food chemistry 500. 147400. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.147400>.
- Yuan, Moo. Chee., dan Hadura. Abu. Hasan. 2022. Effect of feeding rate on growth performance and waste reduction efficiency of black soldier fly larvae (Diptera: Stratiomyidae). Tropical Life Sciences Research. 33(1). 179–199. <https://doi.org/10.21315/tlsr2022.33.1.11>.

- Zhang, Bin., Rencan. Yang., Zaimei. Yuan., Hongren. Su., Jingyi. Shi., Shichun. He., Sifan. Dai., Dawei. Sun., Zhiyong. Zhao., Qingquan. Hu., dan Dongwang. Wu. 2025. Transcriptomic and Metabolomic Mechanisms Underlying Adaptive Differentiation of Black Soldier Fly Larvae Induced by Regional Food Waste Domestication. *Biology (basel)*. 12;14(11). 1584. <https://doi.org/10.3390/biology14111584>.
- Zheng, Yajun., dan Yan. Li. 2018. Physicochemical and functional properties of coconut (*Cocos nucifera* L) cake dietary fibres: Effects of cellulase hydrolysis, acid treatment and particle size distribution. *Food Chemistry*. 257. 135-142. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.012>.
- Zulkifli, N. F. N. M., Seok-Kian, A. Y., Seng, L. L., Mustafa, S., Kim, Y. S., & Shapawi, R. 2022. Nutritional value of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae processed by different methods. *PloS one*, 17(2), e0263924.