

**PROFIL ASAM LEMAK, VISUAL WARNA, VISKOSITAS, DAN  
SENSORIS *BLACK SOLDIER FLY* LARVAE OIL DENGAN PAKAN  
AMPAS KELAPA DAN KULIT KOPI**

---

**SKRIPSI**

---

**Oleh**  
**AULIA AZZAHRA**



**PROGRAM STUDI S-1 TEKNOLOGI PANGAN  
FAKULTAS PETERNAKAN DAN PERTANIAN  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2026**

PROFIL ASAM LEMAK, VISUAL WARNA, VISKOSITAS, DAN SENSORIS  
*BLACK SOLDIER FLY LARVAE OIL* DENGAN PAKAN AMPAS KELAPA  
DAN KULIT KOPI

Oleh

AULIA AZZAHRA  
NIM : 23020122120038

Salah satu syarat untuk memperoleh  
gelar Sarjana Teknologi Pangan pada Program Studi S-1 Teknologi Pangan  
Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro

PROGRAM STUDI S-1 TEKNOLOGI PANGAN  
FAKULTAS PETERNAKAN DAN PERTANIAN  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2026

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aulia Azzahra  
NIM : 23020122120038  
Program Studi : S-1 Teknologi Pangan

dengan ini menyatakan sebagai berikut:

1. Skripsi yang berjudul: **Profil Asam Lemak, Visual Warna, Viskositas, dan Sensoris *Black Soldier Fly Larvae Oil* dengan Pakan Ampas Kelapa dan Kulit Kopi** dan penelitian yang terkait dengan skripsi ini merupakan karya penulis sendiri.
2. Setiap ide atau kutipan dari karya orang lain berupa publikasi atau bentuk lainnya dalam skripsi ini, telah diakui sesuai dengan standar prosedur disiplin ilmu.
3. Penulis juga mengaku bahwa skripsi ini dapat dihasilkan berkat bimbingan dan dukungan penuh dari Pembimbing yaitu: **Yoga Pratama, S.TP., M.Sc., Ph.D.** dan **Masagus Haidir Tamimi, S.T.P., M.Sc.**

apabila di kemudian hari dalam skripsi ini ditemukan hal-hal yang menunjukkan telah dilakukannya kecurangan akademik maka penulis bersedia gelar sarjana yang telah penulis dapatkan ditarik sesuai dengan ketentuan dari Program Studi S-1 Teknologi Pangan, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro.

Semarang, Mei 2026

Penulis,

  
(Aulia Azzahra)

Mengetahui:

Pembimbing Utama

Pembimbing Anggota

  
(Yoga Pratama, S.TP., M.Sc., Ph.D.)

  
(Masagus Haidir Tamimi, S.T.P., M.Sc.)

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : PROFIL ASAM LEMAK, VISUAL WARNA,  
VISKOSITAS, DAN SENSORIS *BLACK  
SOLDIER FLY LARVAE OIL* DENGAN  
PAKAN AMPAS KELAPA DAN KULIT KOPI

Nama Mahasiswa : AULIA AZZAHRA

Nomor Induk Mahasiswa : 23020122120038

Program Studi/Departemen : S-1 TEKNOLOGI PANGAN/PERTANIAN

Fakultas : PETERNAKAN DAN PERTANIAN

Telah disidangkan di hadapan Tim Penguji  
dan dinyatakan lulus pada tanggal **04 JUN 2026**

Pembimbing Utama



Yoga Pratama, S.T.P., M.Sc., Ph.D.

Ketua Program Studi

Pembimbing Anggota



Masagus Hardir Tamimi, S.T.P., M.Sc.

Ketua Panitia Ujian Akhir Program

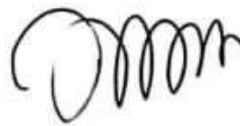


Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.

Dekan



Prof. Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D.



Swastika Dewi, S.T.P., M.Sc.

Ketua Departemen



Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.

## RINGKASAN

**AULIA AZZAHRA.** 23020122120038. 2026. Profil Asam Lemak, Visual Warna, Viskositas, dan Sensoris *Black Soldier Fly Larvae Oil* dengan Pakan Ampas Kelapa dan Kulit Kopi. (Pembimbing: **YOGA PRATAMA** dan **MASAGUS HAIDIR TAMIMI**).

*Black Soldier Fly Larvae* (BSFL) merupakan serangga pengurai yang diketahui dapat mengonversi limbah nabati menjadi biomassa bernilai tinggi dalam bentuk protein dan lemak. Akumulasi limbah perkebunan seperti ampas kelapa dan kulit kopi yang menjadi permasalahan lingkungan dapat diuraikan oleh BSFL. BSFL dapat diekstraksi secara mekanis menghasilkan *Black Soldier Fly Larvae Oil* (BSFLO) yang bernutrisi tinggi, terjangkau, berkelanjutan, dan bersifat ramah lingkungan. Penelitian dilakukan mulai dari proses penumbuhan BSFL, ekstraksi dan purifikasi minyak BSFL serta dilakukan pengujian profil asam lemak, visual warna, viskositas, dan sensoris BSFLO.

Penelitian ini berlangsung selama sepuluh bulan dari Mei 2025 hingga Februari 2026 di “Ben Resik” Farm Jl. Burangrang Raya Jangli, Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian serta Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi limbah ampas kelapa dan kulit kopi sebagai substrat pakan BSFL serta pengaruhnya terhadap profil asam lemak, visual warna, viskositas, dan sensoris *black soldier fly larvae oil* (BSFLO). Perlakuan yang digunakan adalah variasi persentase campuran pakan yang terdiri dari limbah roti, ampas tahu, ampas kelapa, dan limbah kulit kopi dengan total akhir 100%. Perlakuan kontrol menggunakan limbah roti 100%. Perlakuan kelapa dan kopi (KLKP) menggunakan ampas tahu dan limbah roti dengan jumlah yang konstan setiap perlakuannya. KLKP 50/20 menggunakan ampas kelapa 50% dan kulit kopi 20%; KLKP 45/25 menggunakan ampas kelapa 45% dan kulit kopi 25%; KLKP 40/30 menggunakan ampas kelapa 40% dan kulit kopi 30%.

Materi yang digunakan dalam penelitian adalah telur BSFL, dedak, limbah roti, ampas tahu, ampas kelapa, limbah kulit kopi, *bleaching earth*, n-heksana, tritridekanoin, metil undekanoat, metil tersier butil eter, larutan sodium metoksida, metanol, dinatrium hidrogen sitrat sesquihidrat, dan natrium klorida. Rancangan penelitian yang digunakan yaitu perbedaan 4 jenis persentase campuran substrat pakan selama penumbuhan BSFL dan dilakukan 3 kali ulangan. Analisis yang dilakukan yaitu profil asam lemak, visual warna, viskositas, uji *ranking*, dan hedonik. Analisis data untuk parameter profil asam lemak, viskositas, dan visual warna dengan metode deskriptif, uji *ranking* dan hedonik dianalisis dengan pendekatan statistik non-parametrik menggunakan *software* SPSS.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, diketahui bahwa perlakuan KLKP memengaruhi karakteristik BSFLO. Sampel KLKP memiliki profil asam lemak jenuh yang lebih rendah sehingga menghasilkan viskositas, visual warna, dan penerimaan produk BSFLO yang lebih baik oleh panelis.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian berjudul “Profil Asam Lemak, Visual Warna, Viskositas, dan Sensoris *Black Soldier Fly Larvae Oil* dengan Pakan Ampas Kelapa dan Kulit Kopi” dengan baik. Penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi ini tentu tidak terlepas dari doa, dukungan, dan motivasi dari berbagai pihak yang terlibat. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak berikut.

1. Kedua orang tua penulis dan adik kandung penulis yang telah memberikan dukungan secara moral maupun material dari awal masuk perguruan tinggi dan selalu memberikan motivasi kepada penulis;
2. Bapak Yoga Pratama, S.TP., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Masagus Haidir Tamimi, S.T.P., M.Sc. selaku dosen pembimbing anggota yang telah berkenan meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan, arahan, masukan, kesempatan dan apresiasi yang besar selama melaksanakan penelitian hingga sidang ujian akhir;
3. Ibu Ulil Afidah, S.Pt., M.Sc. selaku dosen wali yang telah memberikan pengarahan, kesempatan, dan telah banyak meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan, arahan, dan masukan selama melaksanakan penelitian;
4. Ibu Aulia dan Ibu Widya selaku pengurus Ben Resik Farm yang telah memberikan kesempatan, arahan, saran, dan pendampingan kepada penulis selama melakukan penelitian di farm;
5. Prof. Sugiharto, S.Pt., M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menempuh pendidikan di Program Studi S-1 Teknologi Pangan;
6. Bapak Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D., selaku Ketua Departemen Pertanian Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas

Diponegoro yang telah memberikan kesempatan, bantuan, dan kerja sama dalam melakukan penelitian;

7. Bapak Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D., selaku Program Studi S-1 Teknologi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, yang telah memberikan pengarahan dan motivasi selama menempuh pendidikan hingga melakukan ujian akhir;
8. Dosen penguji ujian akhir Bapak Dr. Rafli Zulfa Kamil, S.T.P. dan Ibu Yasmin Aulia Rachma, S.T.P., M.Sc. serta dosen panitia ujian akhir Ibu Swastika Dewi, S.T.P., M.Sc. yang telah memberikan apresiasi, saran, pertanyaan, dan masukan dalam skripsi ini agar menjadi lebih baik;
9. Semua dosen, tenaga kependidikan, dan staf administrasi Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang atas kesempatan, ilmu, dan pengalaman serta bantuan dalam menyelesaikan urusan administrasi yang dibutuhkan selama belajar di Teknologi Pangan Universitas Diponegoro;
10. Semua pimpinan dan staf Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan, Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian yang telah memberikan bantuan dan kesempatan dalam melaksanakan penelitian;
11. Rekan penelitian penulis saudari Amiira Azizah dan Amara Bilqisth Dardiri atas segala kerja sama dalam melaksanakan seluruh proses penelitian dari awal hingga akhir;
12. Teman-teman seperjuangan penulis Naurah Syifa Hsb, Diyana Selvi, Jessica Kusuma Dewi Saputra, Mario Benediktus Susanto atas saran dan rekomendasi yang diberikan dalam melaksanakan penelitian;
13. Teman-teman dekat penulis Rizky Aziz Dwi Putra, Imam Akbar Fauzian, dan Shalsabila Yuli Kristianti yang membersamai, mendukung, dan memotivasi penulis selama penyusunan skripsi;
14. Teman-teman baik penulis Rizki Nugraheni, Kurniasih, Anisa Kushendrayani, Karina Manusama, Riefa Nur Apriyanti, dan Nanda Dwi Andriani yang mendukung, memotivasi, dan memberikan saran kepada penulis selama proses keberlangsungan skripsi;

15. Teman-teman eksekutif muda Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Peternakan dan Pertanian 2023, Amiira Azizah, Ailsa Ocha Alifa, Evanda Eka Juliwantika, dan Muhammad Farhan yang memberikan dukungan dan memotivasi penulis selama penyusunan skripsi;
16. Seluruh teman dari Bidang Advokasi dan Kesejahteraan Mahasiswa angkatan 2023 dan 2024, serta teman-teman program studi Teknologi Pangan yang selalu memberikan dukungan selama proses keberlangsungan skripsi.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih belum dikatakan sempurna, sehingga penulis berharap mendapat kritik dan saran yang dapat memperbaiki penulisan skripsi ini menjadi lebih baik dan sangat bermanfaat bagi pembaca dan banyak pihak.

Semarang, Mei 2026

## DAFTAR ISI

|                                                  | Halaman |
|--------------------------------------------------|---------|
| KATA PENGANTAR .....                             | vi      |
| DAFTAR ISI.....                                  | ix      |
| DAFTAR TABEL .....                               | xi      |
| DAFTAR ILUSTRASI .....                           | xii     |
| DAFTAR LAMPIRAN .....                            | xiii    |
| BAB I PENDAHULUAN .....                          | 1       |
| 1.1 Latar Belakang .....                         | 1       |
| 1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....          | 6       |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                     | 7       |
| 2.1 <i>Black Soldier Fly Larvae</i> (BSFL) ..... | 7       |
| 2.2 <i>Crude Oil</i> (CO).....                   | 10      |
| 2.3 Purifikasi <i>Crude Oil</i> .....            | 11      |
| 2.4 Ampas Kelapa .....                           | 13      |
| 2.5 Kulit Kopi.....                              | 14      |
| 2.6 Ampas Tahu .....                             | 15      |
| 2.7 Limbah Roti.....                             | 16      |
| 2.8 Asam Lemak .....                             | 18      |
| 2.9 Sifat Sensoris.....                          | 22      |
| 2.10 Uji <i>Ranking</i> .....                    | 26      |
| 2.11 Uji Hedonik .....                           | 27      |
| BAB III MATERI DAN METODE .....                  | 28      |
| 3.1 Materi Penelitian .....                      | 28      |
| 3.2 Metode Penelitian.....                       | 29      |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....                | 41      |

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| 4.1 Hasil Pengujian Profil Asam Lemak BSFLO ..... | 41  |
| 4.2 Hasil Pengujian Visual Warna BSFLO .....      | 50  |
| 4.3 Hasil Pengujian Viskositas BSFLO .....        | 54  |
| 4.4 Hasil Uji <i>Ranking</i> BSFLO .....          | 57  |
| 4.5 Hasil Uji Hedonik BSFLO .....                 | 60  |
| BAB V SIMPULAN DAN SARAN .....                    | 64  |
| 5.1 Simpulan.....                                 | 64  |
| 5.2 Saran.....                                    | 64  |
| DAFTAR PUSTAKA .....                              | 66  |
| LAMPIRAN.....                                     | 85  |
| RIWAYAT HIDUP.....                                | 107 |

## DAFTAR TABEL

| Nomor                                             | Halaman |
|---------------------------------------------------|---------|
| 1. Profil Asam Lemak BSFLO dan Minyak Kelapa..... | 19      |
| 2. Profil Asam Lemak BSFL .....                   | 21      |
| 3. Viskositas BSFLO .....                         | 25      |
| 4. Persentase Perlakuan Pakan .....               | 30      |
| 5. Hasil Pengujian Profil Asam Lemak BSFLO.....   | 42      |
| 6. Hasil Pengujian Viskositas BSFLO.....          | 54      |
| 7. Hasil Uji <i>Ranking</i> BSFLO.....            | 57      |
| 8. Hasil Uji Hedonik BSFLO .....                  | 60      |

## DAFTAR ILUSTRASI

| Nomor                                     | Halaman |
|-------------------------------------------|---------|
| 1. Gambar BSF dan BSFL.....               | 9       |
| 2. Gambar Ampas Kelapa.....               | 13      |
| 3. Gambar Limbah Kulit Kopi .....         | 15      |
| 4. Gambar Ampas Tahu .....                | 16      |
| 5. Gambar Limbah Roti.....                | 17      |
| 6. Diagram Alir Prosedur Penelitian ..... | 31      |
| 7. Hasil Visual Warna BSFLO.....          | 51      |

## DAFTAR LAMPIRAN

| Nomor                                                                                                    | Halaman |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1. Kromatogram Uji Profil Asam Lemak Perlakuan Kontrol Ulangan 1 .....                                   | 85      |
| 2. Kromatogram Uji Profil Asam Lemak Perlakuan Kontrol Ulangan 2 .....                                   | 86      |
| 3. Kromatogram Uji Profil Asam Lemak KLKP 50/20 Ulangan 1 .....                                          | 87      |
| 4. Kromatogram Uji Profil Asam Lemak KLKP 50/20 Ulangan 2 .....                                          | 88      |
| 5. Kromatogram Uji Profil Asam Lemak KLKP 45/25 Ulangan 1 .....                                          | 89      |
| 6. Kromatogram Uji Profil Asam Lemak KLKP 45/25 Ulangan 2 .....                                          | 90      |
| 7. Kromatogram Uji Profil Asam Lemak KLKP 40/30 Ulangan 1 .....                                          | 91      |
| 8. Kromatogram Uji Profil Asam Lemak KLKP 40/30 Ulangan 2 .....                                          | 92      |
| 9. <i>Ethical Clearance</i> .....                                                                        | 93      |
| 10. <i>Screenshoot Scoresheet</i> Uji <i>Ranking</i> Warna, Aroma, dan Kekentalan.....                   | 94      |
| 11. <i>Screenshoot Scoresheet</i> Uji Hedonik Warna, Aroma, Kekentalan, dan <i>Overall</i> Kesukaan..... | 95      |
| 12. Hasil Uji <i>Ranking</i> Warna, Aroma, dan Kekentalan.....                                           | 97      |
| 13. Hasil Uji Hedonik Warna, Aroma, Kekentalan, dan <i>Overall</i> Kesukaan .....                        | 99      |
| 14. Dokumentasi Penelitian.....                                                                          | 101     |

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

*Black Soldier Fly Larvae* (BSFL) merupakan serangga pengurai yang diketahui dapat mengonversi limbah nabati menjadi biomassa bernilai tinggi dalam bentuk protein dan lemak (Sukowati *et al.*, 2021). BSFL memiliki kandungan protein mencapai 40% dan lipid yang mencapai lebih dari 28% (Kim *et al.*, 2020). Melalui proses *de novo lipogenesis*, BSFL akan memecah asam lemak dan karbohidrat menjadi senyawa yang lebih sederhana pada tahap glikolisis dan dekarboksilasi oksidatif menjadi asam lemak jenuh dan tak jenuh dengan bantuan enzim *fatty acid synthase* dan thioesterase (Hoc *et al.*, 2020). Hal ini menjadikan BSFL memiliki kandungan lemak tinggi dan berpotensi menjadi alternatif produk minyak yang bersifat ramah lingkungan dan berkelanjutan sebagai *future foods*. BSFL berpotensi menjadi makanan di masa depan karena karakteristik nutrisinya yang bermanfaat dan dampak lingkungan yang rendah dibandingkan dengan peternakan konvensional (Mertenat *et al.*, 2019; Halloran *et al.*, 2017).

Minyak BSFL memiliki keunggulan tersendiri dibandingkan dengan minyak serangga lainnya karena didominasi oleh asam lemak jenuh rantai menengah hingga panjang (Surendra *et al.*, 2020). Komponen asam lemak yang terdapat dalam minyak BSFL didominasi oleh asam laurat. Asam laurat terdapat dalam konsentrasi tinggi dalam minyak BSFL sebagai asam lemak rantai menengah serta beberapa jenis asam lemak jenuh lainnya seperti miristat hingga stearat (Gatlin *et al.*, 2024;

Vázquez *et al.*, 2024). Sedangkan, minyak dari berbagai jenis serangga cenderung didominasi oleh asam lemak tak jenuh. Minyak kroto tinggi akan asam oleat (C18:1) sebesar 38,80%, minyak ulat hongkong, ulat jerman, dan jangkrik juga didominasi oleh asam oleat (C18:1) masing-masing sebesar 44,60%, 27,80%, dan 25,80% serta asam linoleat (C18:2) sebesar 24,00%, 26,80%, dan 27,90% (Jayanegara *et al.*, 2020).

Karakteristik minyak BSFL yang didominasi oleh asam lemak jenuh menjadikan minyak BSFL berbeda dengan minyak serangga lainnya. Hal ini menjadikan minyak BSFL memiliki titik leleh tinggi dan cenderung bersifat semi padat hingga padat pada suhu ruang. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa minyak BSFL berpotensi untuk diaplikasikan pada bidang pangan menjadi sumber lemak untuk margarin atau lemak oles, lemak untuk pembuatan cokelat, *shortening* pada industri roti, lemak pelapis (*coating fat*) pada permen dan cokelat serta sebagai bahan pengawet alami pada *edible coating* karena sifat antimikroba dari asam laurat yang dimiliki minyak BSFL.

Selain manfaat yang diperoleh dari minyak BSFL, BSFL berpotensi untuk mendukung terciptanya ekonomi sirkular karena kemampuannya dalam mengonversi limbah nabati. BSFL dapat mengurangi limbah nabati 30-79% tergantung dari jenis dan kualitas substrat pakan (Gold *et al.*, 2018). Berdasarkan data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik tahun 2024, luas areal tanaman perkebunan di Indonesia pada komoditas kopi dan kelapa masing-masing sebesar 1.273.920 hektar dan 3.290.250 hektar dengan produksi perkebunan tahunan sebesar 3.330 ton dan 24.270 ton.

Pengolahan kopi menghasilkan limbah kulit kopi sebesar 50-60% yang pemanfaatan dan pengolahannya relatif masih rendah sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan (Wahyuni *et al.*, 2023; Ramon *et al.*, 2021). Begitu juga dengan ampas kelapa, kelapa banyak dimanfaatkan sebagai santan. Santan yang diperoleh dari daging kelapa akan menghasilkan limbah berupa ampas kelapa. Ampas kelapa sebagai limbah rumah tangga cenderung hanya dibuang begitu saja sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran, bau, serta menjadi media berkembangnya bakteri (Dewi *et al.*, 2025).

Akumulasi limbah kulit kopi dan ampas kelapa menimbulkan permasalahan lingkungan karena proses dekomposisi serta pelepasan gas metana berkontribusi terhadap gas rumah kaca yang mengakibatkan pemanasan global hingga perubahan iklim (Arista., 2024). Limbah ampas kelapa dan kulit kopi yang masih menjadi permasalahan lingkungan dapat diuraikan oleh *black soldier fly larvae* (BSFL). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa BSFL yang diberi substrat pakan 100% ampas kelapa belum menghasilkan pertumbuhan BSFL yang optimal. Penelitian yang dilakukan oleh Ekawandani *et al.* (2025) menunjukkan bahwa BSFL dengan pakan ampas kelapa tunggal memiliki panjang BSFL terendah dibandingkan perlakuan pakan kombinasi berupa limbah sisa makanan karena keterbatasan nutrisi dan tekstur pakan yang kurang lunak karena kandungan serat kasar ampas kelapa sehingga menghambat pertumbuhan BSFL.

Begitu pula dengan kulit kopi, pada kulit kopi mengandung zat anti nutrisi seperti kafein, lignin, tanin, dan asam klorogenat yang dapat memengaruhi bahkan menghambat pertumbuhan BSFL. Selain itu, kandungan serat kasarnya yang cukup

tinggi menyebabkan tekstur kulit kopi keras dan berserat (Rumengan *et al.*, 2022). Kandungan serat kasar yang tinggi pada substrat pakan, pakan yang terlalu kering, dan rendahnya ketersediaan nutrisi dapat menghambat penyerapan nutrisi dan pertumbuhan BSFL (Ayu *et al.*, 2023; Ramadani dan Adelina., 2024). Berdasarkan karakteristik ampas kelapa dan kulit kopi tersebut, maka diperlukan adanya kombinasi substrat pakan agar dapat mendukung pertumbuhan BSFL.

Melihat dari beberapa penelitian yang telah dilakukan dan kondisi di lapangan, ampas tahu dan limbah roti berpotensi dapat mendukung pertumbuhan BSFL. Ampas tahu masih memiliki kandungan protein dan air yang cukup tinggi sehingga dapat mendukung penyerapan nutrisi pakan dan pertumbuhan BSFL. Limbah roti yang berupa hasil *reject* proses produksi dan roti kedaluwarsa memiliki kandungan karbohidrat yang cukup tinggi sehingga dapat mendukung pertumbuhan BSFL. Penelitian yang dilakukan Purba *et al.* (2022) menunjukkan bahwa kombinasi ampas tahu dan limbah roti sebesar 1:1 dapat menghasilkan berat akhir, panjang, dan produksi BSFL tertinggi dibandingkan dengan perlakuan pakan tunggal.

Perbedaan substrat pakan akan memengaruhi komposisi asam lemak BSFL. Asam lemak yang terkandung dalam BSFL akan terakumulasi dalam minyak BSFL yang dihasilkan. Profil asam lemak dari *black soldier fly larvae oil* (BSFLO) akan memengaruhi viskositas, visual warna, dan penerimaan konsumen. BSFLO yang didominasi oleh asam lemak jenuh rantai sedang hingga menengah menyebabkan viskositas yang lebih tinggi hingga padat pada suhu ruang mirip dengan minyak kelapa (Muangrat dan Pannasai, 2024; Chang *et al.*, 2025). Selain itu, substrat

pakan juga akan memengaruhi warna tubuh BSFL yang akan berpengaruh ke warna minyak yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan pigmen yang terkandung dalam pakan akan dicerna dan disintesis oleh tubuh BSFL yang akan berpengaruh pada warna tubuh dan minyaknya (Tiranissa *et al.*, 2024).

Profil asam lemak, viskositas, dan visual warna dari BSFLO yang berbeda karena adanya perbedaan substrat pakan akan memengaruhi penerimaan konsumen. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Chang *et al.* (2025) aroma minyak mentah BSFL cenderung tidak diinginkan dan dianggap kurang menarik oleh konsumen serta memiliki warna yang lebih gelap dan kuning dibandingkan dengan minyak kelapa dan olein sawit sehingga membatasi penggunaannya dalam aplikasi pangan. Oleh karenanya, pada penelitian ini juga dilakukan proses purifikasi atau pemurnian menggunakan adsorben untuk meningkatkan kualitas dan penerimaan konsumen terhadap produk BSFLO.

Kombinasi limbah nabati yang digunakan berupa ampas kelapa dan kulit kopi serta ampas tahu dan limbah roti memiliki keunggulan nutrisi berupa karbohidrat, protein, dan lemak yang saling melengkapi. Diharapkan dengan adanya kombinasi berbagai jenis pakan dapat mendukung proses penguraian limbah dengan baik dan meningkatkan kualitas BSFLO dengan profil asam lemak, visual warna, viskositas, dan sensoris yang baik agar dapat bermanfaat di berbagai bidang serta berpotensi untuk dikembangkan dan mendukung ekonomi sirkular.

## 1.2 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi limbah ampas kelapa dan kulit kopi sebagai substrat pakan BSFL serta pengaruhnya terhadap profil asam lemak, visual warna, viskositas, dan sensoris *black soldier fly larvae oil* (BSFLO). Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui persentase penggunaan limbah ampas kelapa dan kulit kopi sebagai pakan *black soldier fly larvae* (BSFL) yang dapat menghasilkan BSFLO dengan profil asam lemak, visual warna, viskositas, dan sensoris yang dapat diterima dengan baik.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL)

*Black Soldier Fly Larvae* (BSFL) merupakan salah satu siklus hidup dari lalat tentara hitam *Black Soldier Fly* (BSF). BSF termasuk dalam spesies serangga dari famili *Stratiomyidae* yang dapat tumbuh subur di berbagai lingkungan, terutama di daerah beriklim panas dan lembab (Shabira *et al.*, 2025). BSF merupakan lalat asli asal benua Amerika yang tersebar ke seluruh dunia di wilayah subtropis dan tropis. Siklus hidup BSF diawali dari telur, berkembang menjadi larva, pupa, dan menjadi lalat dewasa (Sholahuddin *et al.*, 2021). Siklus hidup BSF dari telur hingga lalat dewasa dapat berlangsung 40-43 hari, tergantung kondisi lingkungan dan substrat pakan yang diberikan.

Telur BSF akan menetas dalam waktu 2-4 hari, berkembang menjadi larva dalam waktu 18-24 hari, larva akan mengalami pergantian kulit menjadi pupa (Wardhana, 2016). Selanjutnya setelah 14 hari, pupa akan berkembang menjadi lalat dewasa yang memiliki waktu hidup 5-8 hari. Lalat dewasa (BSF) hanya beraktivitas untuk kawin dan bereproduksi, kebutuhan nutrisi tergantung pada cadangan lemak yang disimpan saat masa pupa, sehingga substrat pakan yang diberikan pada fase larva sangat memengaruhi (Oliveira *et al.*, 2016). Selama fase larva, BSFL akan mengonsumsi berbagai jenis komponen organik seperti limbah organik, sampah dapur, sayur, dan buah (Wang *et al.*, 2017).

BSFL umumnya ditumbuhkan hingga usia 21 hari. Waktu penumbuhan dalam jangka waktu tersebut dipilih karena jumlah lemak dalam BSFL berada di posisi yang optimal. Sementara itu, pertumbuhan yang melebihi masa optimal, larva akan kehilangan sebagian besar cadangan lipidnya ketika memasuki tahap pupa (Eriksen., 2022). Tahap kehidupan larva ini adalah kondisi optimal larva dalam mengonversi substrat pakan menjadi biomassa, BSFL akan sangat aktif dalam mengonversi substrat pakan sehingga tahap ini merupakan tahap penting dalam mendekomposisi limbah (Rismayani *et al.*, 2024).

Substrat pakan yang diberikan akan memengaruhi pertumbuhan, komposisi, dan kualitas BSFL. Selain substrat pakan, pertumbuhan BSFL juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. BSFL dapat tumbuh dan berkembang dengan baik pada suhu 25–35°C dan kelembaban relatif 60-70% (Meneguz *et al.*, 2018). Substrat pakan yang dicerna oleh BSFL akan dikonversi oleh enzim yang terdapat dalam tubuh BSFL menjadi nutrisi bernilai tinggi. Menurut Fonseca-Barragan *et al.* (2017) BSFL memiliki aktivitas enzim amilase, lipase, dan protease yang tinggi sehingga dapat mengubah limbah organik menjadi sumber nutrisi berkualitas tinggi yang terkandung dalam BSFL.

BSFL mengandung nutrisi berupa protein, lemak, asam amino, dan berbagai mineral. BSFL mengandung sekitar 40-50% protein (Al-Qazzaz *et al.*, 2016) dan 30-40% lipid (Jung *et al.*, 2022) bervariasi tergantung jenis substrat yang digunakan untuk pertumbuhan BSFL. Profil asam amino menunjukkan bahwa protein BFL kaya akan lisin (6-8% dari kandungan protein) serta mengandung berbagai mineral seperti mangan (Mn), besi (Fe), seng (Zn), tembaga (Cu), fosfor (P), dan kalsium

(Ca) (Fonseca-Barragan *et al.*, 2017). Selain nilai nutrisinya yang tinggi, BSFL juga mengandung berbagai senyawa metabolit sekunder yang terbentuk dari proses metabolisme larva selama hidupnya, senyawa metabolit sekunder tersebut adalah fitokimia. Penelitian yang dilakukan oleh Shabira *et al.* (2025) menunjukkan bahwa BSFL mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti alkaloid, flavonoid, fenolik, tanin, saponin, steroid, dan terpenoid yang memiliki aktivitas seperti antioksidan, antimikroba, antiinflamasi, dan imunomodulator. Berikut merupakan ilustrasi mengenai BSF dan BSFL.



Ilustrasi 1. Gambar BSF (*Hermetia Illucens*) (Kiri) dan BSFL (Kanan)

Kandungan nutrisi yang terdapat dalam BSFL menjadikan BSFL berpotensi dan sering dimanfaatkan pada berbagai sektor khususnya di bidang peternakan sebagai pakan ternak, pertanian, lingkungan, kosmetik, obat, hingga pangan. Ternak yang diberi pakan BSFL mengalami peningkatan produktivitas, bobot, dan daya tahan tubuh. Penelitian yang dilakukan oleh Gold *et al.* (2018) menunjukkan bahwa bakteri *Escherichia coli* dan *Salmonella spp* tidak dapat hidup dalam ternak yang diberi makan BSFL. BSFL juga berperan dalam menjaga kelestarian

lingkungan karena selain dapat menguraikan limbah organik tetapi juga dapat mengurangi keberadaan bakteri berbahaya sehingga berpotensi untuk mendukung ekonomi sirkular. Penelitian yang dilakukan oleh Afriani *et al.* (2023) juga menunjukkan bahwa BSFL dapat dijadikan bahan obat untuk penyembuhan luka dan berpotensi mempercepat penyembuhan luka karena memiliki kandungan protein dan 10 jenis asam lemak yang terdiri dari asam lemak jenuh, asam lemak tak jenuh tunggal, dan asam lemak tak jenuh ganda yang dapat mendukung pembentukan jaringan baru pada luka.

## **2.2 Crude Oil (CO)**

Salah satu hasil biokonversi dari BSFL yang berpotensi dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan mulai dari pakan ternak, bahan baku biodiesel, biopolimer, pelumas, hingga kosmetik adalah minyaknya (Muhayyat *et al.*, 2016). *Crude oil* (CO) dengan kandungan lemak yang cukup tinggi diketahui mirip dengan hasil produksi minyak kelapa dan minyak inti sawit. Oleh karena itu, CO dapat menjadi alternatif menjanjikan di bidang kosmetik bahkan telah dipatenkan secara internasional (Franco *et al.*, 2022; Sangduan., 2018).

Pernyataan dari *The European Food Safety Authority* (EFSA, 2015) juga mendukung bahwa jangkrik, ulat hongkong, ulat sutra, ngengat lilin, belalang, dan lalat tentara hitam (BSF) sebagai spesies serangga yang paling menjanjikan untuk pangan dan pakan namun, BSFL dengan sumber protein dan minyak yang potensial belum mendapatkan izin untuk dikonsumsi manusia di Uni Eropa tetapi telah diizinkan penggunaannya dalam kosmetik. CO diketahui mengandung asam laurat

(28,8%), asam linoleat (11,1%), dan asam linolenat (0,4%) yang memiliki sifat antibakteri, antijamur, dan antiperadangan (Phongpradist *et al.*, 2023). Profil asam lemak dan karakteristik dari CO dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tahap kehidupan, kondisi lingkungan, dan substrat pakan (Franco *et al.*, 2022).

### 2.3 Purifikasi *Crude Oil*

*Crude oil* (CO) hasil dari proses pengepresan BSFL kering memiliki potensi untuk dimanfaatkan dalam berbagai bidang. Proses perolehan *crude oil* BSFL diawali dengan proses pencucian dan pengeringan BSFL, kemudian BSFL yang telah dikeringkan diekstraksi secara mekanis untuk menghasilkan minyak. Minyak hasil ekstraksi langsung merupakan *fresh crude oil* (FCO) yang kemudian melalui proses sentrifugasi akan menghasilkan CO. Selain minyak, proses ekstraksi juga akan menghasilkan *black soldier fly larvae meal* (BSFLM) sebagai *by-product*. Sebelum dimanfaatkan, *crude oil* BSFL memerlukan proses purifikasi.

Purifikasi atau pemurnian merupakan proses penghilangan kontaminan yang dapat mengurangi umur simpan minyak dan zat-zat tidak diinginkan yang bertujuan untuk menetralkan asam lemak bebas dan mempertahankan trigliserida. Hal ini sesuai dengan pendapat Mai *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa *crude oil* dari proses ekstraksi BSFL masih mengandung komponen-komponen nontriasilgliserol berupa bahan bergetah (*gum*), residu berbau, dan pigmen yang memengaruhi rasa, nilai gizi, dan visual minyak.

Proses purifikasi *crude oil* BSFL terdiri dari beberapa langkah meliputi *degumming*, netralisasi, *bleaching*, dan deodorisasi. *Degumming* merupakan tahap

pertama dalam proses purifikasi yang bertujuan untuk menghilangkan protein, fosfolipid, dan *gum* tidak larut yang dapat menurunkan kualitas minyak dengan menggunakan air atau asam (Gharby, 2022). Netralisasi bertujuan untuk menghilangkan asam lemak bebas, fosfolipid, sulfur, dan kotoran lain dengan menambahkan alkali hingga terbentuk sabun yang kemudian dihilangkan menggunakan air (Chew dan Ali, 2021). *Bleaching* merupakan tahapan kritis dalam proses purifikasi atau pemurnian minyak.

Tahap *bleaching* bertujuan untuk menghilangkan senyawa warna, pigmen alami, dan produk oksidasi yang dapat dilakukan melalui adsorpsi dengan adsorben yang melibatkan gaya tarik permukaan (Mai *et al.*, 2019). Deodorisasi sebagai langkah terakhir dalam proses purifikasi bertujuan untuk menghilangkan unsur-unsur yang tidak diinginkan (aldehid dan keton) serta menghilangkan aroma atau bau yang tidak diharapkan dalam minyak. Adsorben yang digunakan pada tahap *bleaching* adalah *bleaching earth* (tanah pemucat). *Bleaching earth* sebagai adsorben akan bekerja dengan cara mengadsorpsi dan mengendapkan seluruh komponen yang bersifat polar dalam minyak seperti logam berat, fosfor, pigmen, aldehid, keton, dan *gum* (Veronika dan Sihotang, 2023). Hasil purifikasi CO dengan *bleaching earth* akan menghasilkan *black soldier fly larvae oil* (BSFLO) dengan warna yang lebih cerah dan aroma yang lebih minimal sehingga diharapkan dapat meningkatkan penerimaan konsumen terhadap BSFLO.

## 2.4 Ampas Kelapa

Ampas kelapa adalah limbah organik dari pembuatan santan. Ampas kelapa merupakan hasil samping dari daging kelapa yang diparut serta diperas untuk mendapatkan sari dari kelapa parut. Limbah ampas kelapa masih kurang dimanfaatkan dengan baik sehingga berpotensi mencemari dan mengganggu kelestarian lingkungan. Ampas kelapa sebagai limbah organik yang banyak ditemui di Indonesia mudah membusuk sehingga berpotensi menghasilkan bau busuk yang mencemari lingkungan (Ekawandani *et al.*, 2025). Berdasarkan kandungan nutrisinya, ampas kelapa mengandung karbohidrat yang cukup tinggi yaitu sebesar 23,77%, protein 16,35%, lemak 23,36%, abu 3,04%, air 11,31%, dan serat kasar 15,7% (Putri dan Zaenudin, 2019). Berikut merupakan ilustrasi ampas kelapa yang digunakan sebagai substrat pakan.



Ilustrasi 2. Gambar Ampas Kelapa

Kandungan nutrisi yang masih terdapat dalam ampas kelapa menjadikan ampas kelapa berpotensi sebagai substrat pakan yang dapat mendukung

pertumbuhan BSFL. Namun, perlu dilakukan kombinasi substrat pakan karena penggunaan ampas kelapa sebagai pakan tunggal menghasilkan pertumbuhan BSFL lebih lambat (Lim *et al.*, 2022). Pemanfaatan ampas kelapa sebagai substrat pakan BSFL berpotensi mendukung ekonomi sirkular karena selain menguraikan limbah juga menghasilkan biomassa BSFL yang tinggi akan protein dan lemak (Ekawandani *et al.*, 2025).

## **2.5 Kulit Kopi**

Kulit kopi merupakan limbah dari proses pengolahan dalam memperoleh biji kopi. Jumlah limbah kulit kopi menyamai dari hasil panen biji kopi yaitu berkisar 50-60% (Wahyuni *et al.*, 2023). Jumlah limbah kulit kopi yang cenderung belum dimanfaatkan dengan baik menyebabkan pencemaran lingkungan sekitar. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa limbah kulit kopi berpotensi menjadi pupuk kompos yang dapat dimanfaatkan di bidang pertanian, peternakan, dan perikanan (Saraswati *et al.*, 2020). Selain itu, dalam upaya mengurangi limbah kulit kopi, kulit kopi berpotensi menjadi substrat pakan BSFL sehingga limbah kulit kopi dapat terurai dan mengurangi pencemaran lingkungan. Berikut merupakan ilustrasi limbah kulit kopi yang digunakan sebagai substrat pakan.



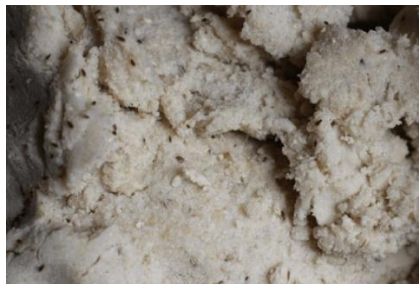
Ilustrasi 3. Gambar Limbah Kulit Kopi

Limbah kulit kopi memiliki kandungan bahan organik berupa 10,4% protein kasar dan 17,2% serat serta senyawa fenolik antimikroba dan antioksidan (Pakpahan *et al.*, 2024). Limbah kulit kopi juga mengandung tinggi serat dan mineral seperti nitrogen, fosfor, dan kalium. Kandungan tanin sebagai salah satu senyawa fenolik dan serat kasar yang terdapat dalam limbah kulit kopi menjadi salah satu tantangan pemanfaatan limbah kulit kopi sebagai substrat pakan BSFL. Oleh karenanya, dilakukan kombinasi substrat pakan agar dapat memenuhi kebutuhan nutrisi pakan sehingga dapat dikonversi dengan baik oleh BSFL.

## 2.6 Ampas Tahu

Industri pembuatan tahu menghasilkan dua jenis limbah selama proses produksinya yaitu limbah cair dan limbah padat. Limbah padat dari industri tahu (ampas tahu) umumnya menghasilkan sebesar 40% dari total produksi (Sunartaty dan Nurman, 2021). Ampas tahu merupakan hasil samping dari pengolahan tahu yang cenderung tidak dimanfaatkan dengan baik, sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan. Pencemaran lingkungan yang disebabkan dari ampas tahu

berupa bau yang menyengat, peningkatan keasaman tanah, dan pencemaran udara (Purba *et al.*, 2022). Berikut merupakan ilustrasi ampas tahu yang digunakan sebagai substrat pakan.



Ilustrasi 4. Gambar Ampas Tahu

Ampas tahu sebagai bahan organik diketahui memiliki kandungan protein 21%, lemak 3,79%, air 51,63%, dan abu 1,21% (Masir *et al.*, 2020). Kandungan nutrisi yang cukup tinggi dalam ampas tahu menjadikan ampas tahu berpotensi sebagai substrat pakan dan media tumbuh BSFL. Penelitian yang dilakukan oleh Maulana *et al.* (2021) menunjukkan bahwa ampas tahu menjadi media tumbuh yang dapat menghasilkan berat segar dan panjang rata-rata BSFL tertinggi. Cicilia dan Susila (2018) juga menunjukkan bahwa pemanfaatan ampas tahu sebagai substrat pakan BSFL memberikan pengaruh nyata terhadap peningkatan produksi BSFL.

## 2.7 Limbah Roti

Limbah roti merupakan produk samping yang dihasilkan dari industri pengolahan roti. Selain itu, limbah roti juga dapat berasal dari roti-roti kedaluwarsa

yang ditarik dari pasaran sehingga tidak layak dikonsumsi lagi (Purba *et al.*, 2022). Industri roti menyumbang 25% dari total produksi yang berasal dari tahap pengolahan dan produk cacat atau tidak sesuai standar (Saripudin *et al.*, 2019). Limbah roti masih memiliki kandungan nutrisi yang cukup, berpotensi untuk menjadi substrat pakan yang dapat mendukung pertumbuhan BSFL dan menjadi salah satu upaya mengurangi serta mendekomposisi limbah roti. Berikut merupakan ilustrasi dari limbah roti yang digunakan sebagai substrat pakan.



Ilustrasi 5. Gambar Limbah Roti

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Agustin *et al.* (2017) limbah roti afkir memiliki kandungan protein sebesar 10,25%, serat 12,04%, lemak 13,42%, dan abu 0,80%. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Ewald *et al.*, (2020) menunjukkan bahwa BSFL yang diberi pakan limbah roti dapat meningkatkan kandungan asam lemak khususnya asam laurat pada BSFL karena limbah roti mengandung karbohidrat hingga 79% yang dapat disintesis oleh BSFL menjadi asam lemak.

## 2.8 Asam Lemak

Asam lemak merupakan komponen utama dalam minyak. Asam lemak tersusun atas rangkaian karbon yang dapat membentuk sifat khas untuk setiap lemak. Menurut penelitian dari Maulinda *et al.* (2017) berdasarkan ikatan karbonnya, asam lemak diklasifikasikan menjadi asam lemak jenuh (*saturated*), asam lemak tak jenuh tunggal (*monounsaturated fatty acid*), dan asam lemak tak jenuh ganda (*polyunsaturated fatty acid*). Asam lemak jenuh adalah asam lemak dengan atom karbon tidak memiliki ikatan rangkap sedangkan asam lemak tak jenuh adalah asam lemak yang atom karbonnya memiliki ikatan rangkap.

Komposisi asam lemak pada BSFLO didominasi oleh asam lemak jenuh dengan komposisi asam lemak tak jenuh tunggal dan ganda yang lebih rendah. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Caligiani *et al.* (2019) dan Rabani *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa BSFLO mengandung lemak 15% hingga 49% dengan asam lemak primer berupa asam laurat, asam palmitat, asam oleat, miristat, dan linoleat. Asam lemak yang terkandung dalam BSFLO mirip dengan profil asam lemak yang terdapat dalam minyak inti sawit dan minyak kelapa yang bermanfaat dan memiliki aktivitas antioksidan serta antibakteri (Verheyen *et al.*, 2020). Tabel 1 merupakan hasil dari beberapa penelitian yang menunjukkan profil asam lemak BSFLO dan profil asam lemak minyak kelapa.

Tabel 1. Profil Asam Lemak BSFLO dan Minyak Kelapa

| <b>Komposisi Asam Lemak</b>                                                  | <b>BSFLO<sup>1)</sup></b> | <b>BSFLO<sup>2)</sup></b> | <b>Minyak Kelapa<sup>3)</sup></b> |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| <b>Asam Lemak Jenuh (<i>Saturated Fatty Acid</i> (SFA))</b>                  |                           |                           |                                   |
| C 6:0<br>(Asam Kaproat)                                                      | -                         | -                         | 0,92                              |
| C 8:0<br>(Asam Kaprilat)                                                     | -                         | -                         | 9,05                              |
| C 10:0<br>(Asam Kaprat)                                                      | -                         | 0,8                       | 8,09                              |
| C 12:0<br>(Asam Laurat)                                                      | 28,8                      | 47,2                      | 24,88                             |
| C 14:0<br>(Asam Miristat)                                                    | 5,4                       | 11,1                      | 18,77                             |
| C 16:0<br>(Asam Palmitat)                                                    | 21,6                      | 14,3                      | 15,09                             |
| C 18:0<br>(Asam Stearat)                                                     | 2,4                       | 1,9                       | 5,90                              |
| C 20:0<br>(Asam Arakidat)                                                    | -                         | -                         | nd                                |
| <b>TOTAL SFA</b>                                                             | <b>58,2</b>               | <b>75,3</b>               | <b>82,7</b>                       |
| <b>Asam Lemak Tak Jenuh Tunggal (<i>Monounsaturated Fatty Acid</i>/MUFA)</b> |                           |                           |                                   |
| Asam Lemak<br>Omega 9 / C<br>18:1 W9C (C-<br>Asam Oleat)                     | 23,4                      | 9,8                       | 13,97                             |
| C 14:1<br>(Asam<br>Mirisroleat)                                              | -                         | -                         | nd                                |
| C 16:1<br>(Asam<br>Palmitoleat)                                              | 3,2                       | 3,7                       | nd                                |
| <b>TOTAL MUFA</b>                                                            | <b>26,6</b>               | <b>13,5</b>               | <b>13,97</b>                      |
| <b>Asam Lemak Tak Jenuh Ganda (<i>Polyunsaturated Fatty Acid</i>/PUFA)</b>   |                           |                           |                                   |
| <b>Asam Lemak Omega-3 (W3)</b>                                               |                           |                           |                                   |
| C 18:3 W3<br>(Asam Linolenat<br>/ W3)                                        | 0,4                       | 1,9                       | -                                 |
| <b>TOTAL</b>                                                                 | <b>0,4</b>                | <b>1,9</b>                | <b>-</b>                          |
| <b>Asam Lemak Omega-6 (W6)</b>                                               |                           |                           |                                   |
| C 18:2 W6<br>(Asam Linoleat /<br>W6)                                         | 11,1                      | 9,2                       | 3,32                              |
| <b>TOTAL</b>                                                                 | <b>11,1</b>               | <b>9,2</b>                | <b>3,32</b>                       |
| <b>TOTAL PUFA</b>                                                            | <b>11,5</b>               | <b>11,1</b>               | <b>3,32</b>                       |

<sup>1)</sup>Mai et al. (2019); <sup>2)</sup>Selimi et al. (2025); <sup>3)</sup>Chang et al. (2025)

Berdasarkan hasil profil asam lemak BSFLO dari beberapa penelitian menunjukkan bahwa BSFLO didominasi oleh SFA khususnya asam laurat yang mirip dengan minyak kelapa. Tabel 1 menunjukkan bahwa penelitian yang dilakukan oleh Selimi *et al.* (2025) memiliki kandungan asam lemak jenuh yang lebih tinggi dan asam lemak tak jenuh yang lebih rendah dibandingkan dengan BSFLO dari penelitian Mai *et al.* (2019). Hal ini disebabkan BSFLO yang diperoleh dari penelitian Selimi *et al.* (2025) diberi perlakuan pakan limbah dari industri makanan dan susu sedangkan BSFLO yang diperoleh dari penelitian Mai *et al.* (2019) diberi perlakuan pakan berupa kotoran ayam dan sapi. BSFL yang diberi substrat pakan limbah makanan dan susu menyediakan nutrisi yang lebih lengkap sehingga mendukung BSFL dalam melakukan sintesis asam lemak dalam tubuh BSFL yang kemudian terakumulasi dalam BSFLO.

Kandungan asam lemak jenuh yang lebih tinggi dalam BSFLO sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kim *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa komposisi asam lemak BSFLO tersusun atas asam lemak jenuh sebesar 41,97%, asam lemak tak jenuh tunggal dan ganda yang lebih rendah. Kandungan asam laurat (C12:0) mencapai 13-52%, asam palmitat (C16:0), asam oleat (C18:1 n-9), asam miristat (C14:0), asam stearat (C18:0), dan linoleat (C18:2) memiliki persentasi yang relatif lebih rendah dan terbatas jumlahnya (Ewald *et al.*, 2020). Perbedaan jenis substrat pakan menjadi faktor yang memengaruhi profil asam lemak BSFLO. Berikut merupakan hasil penelitian Ewald *et al.* (2020) yang menunjukkan profil asam lemak BSFL dari berbagai jenis substrat pakan.

Tabel 2. Profil Asam Lemak BSFL

| Komposisi<br>Asam Lemak                                                      | Jenis Substrat Pakan      |                           |                                      |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
|                                                                              | Limbah Roti <sup>1)</sup> | Limbah Ikan <sup>1)</sup> | Limbah Rumah<br>Tangga <sup>1)</sup> |
| <b>Asam Lemak Jenuh (<i>Saturated Fatty Acid</i> (SFA))</b>                  |                           |                           |                                      |
| C 12:0<br>(Asam Laurat)                                                      | 51,8                      | 28,6                      | 39,9                                 |
| C 14:0<br>(Asam Miristat)                                                    | 9,5                       | 6,1                       | 6,7                                  |
| C 16:0<br>(Asam Palmitat)                                                    | 12,7                      | 12,6                      | 16,3                                 |
| C 18:0<br>(Asam Stearat)                                                     | 1,5                       | 2,2                       | 2,1                                  |
| <b>TOTAL SFA</b>                                                             | <b>75,5</b>               | <b>49,5</b>               | <b>65,0</b>                          |
| <b>Asam Lemak Tak Jenuh Tunggal (<i>Monounsaturated Fatty Acid</i>/MUFA)</b> |                           |                           |                                      |
| Asam Lemak<br>Omega 9 / C 18:1<br>W9C (C-Asam<br>Oleat)                      | 12,0                      | 25,1                      | 19,1                                 |
| C 14:1<br>(Asam<br>Mirisroleat)                                              | 0,2                       | 0,2                       | 0,2                                  |
| C 16:1<br>(Asam<br>Palmitoleat)                                              | 2,8                       | 4,8                       | 2,6                                  |
| <b>TOTAL MUFA</b>                                                            | <b>15,0</b>               | <b>30,1</b>               | <b>21,9</b>                          |
| <b>Asam Lemak Tak Jenuh Ganda (<i>Polyunsaturated Fatty Acid</i>/PUFA)</b>   |                           |                           |                                      |
| <b>Asam Lemak Omega-3 (W3)</b>                                               |                           |                           |                                      |
| C 20:5 W3 (Asam<br>Eikosapentaenoat) /<br>EPA                                | 0,0                       | 1,7                       | 0,5                                  |
| C 22:6 W3 (Asam<br>Dokosaheksanoat) /<br>DHA                                 | 0,0                       | 0,7                       | 0,0                                  |
| <b>TOTAL</b>                                                                 | <b>0,0</b>                | <b>2,4</b>                | <b>0,5</b>                           |
| <b>Asam Lemak Omega-6 (W6)</b>                                               |                           |                           |                                      |
| C 18:2 W6 (Asam<br>Linoleat/W6)                                              | 7,7                       | 12,5                      | 9,9                                  |
| C 18:3 W6 (Asam<br>Linolenat/W6)                                             | 1,6                       | 3,4                       | 1,8                                  |
| <b>TOTAL</b>                                                                 | <b>9,3</b>                | <b>16,0</b>               | <b>11,9</b>                          |
| <b>TOTAL PUFA</b>                                                            | <b>9,3</b>                | <b>18,4</b>               | <b>12,4</b>                          |

<sup>1)</sup>Ewald *et al.* (2020)

Berdasarkan profil asam lemak tersebut, menunjukkan bahwa komposisi asam lemak salah satunya dipengaruhi oleh substrat pakan selama pemeliharaan. BSFL yang dipelihara dengan konsentrasi karbohidrat dalam substrat pakan yang tinggi dapat meningkatkan kandungan asam laurat BSFLO karena BSFL akan melakukan metabolisme karbohidrat menjadi asam laurat (Scala *et al.*, 2020). Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Ewald *et al.* (2020) pada tabel 2, menunjukkan bahwa BSFL yang ditumbuhkan pada substrat roti memiliki kadar asam laurat tertinggi. BSFL yang diberi pakan limbah ikan yang kaya akan asam lemak omega 9 juga menghasilkan BSFL yang juga tinggi mengandung asam lemak omega 9. Namun, keseimbangan nutrisi pakan seperti protein dan lemak juga menjadi faktor yang memengaruhi pertumbuhan BSFL. Protein dibutuhkan BSFL sebagai prekursor pertumbuhan BSFL sedangkan lemak diperlukan sebagai cadangan makanan BSFL pada tahap dewasa atau pupa (Permana *et al.*, 2018).

## **2.9 Sifat Sensoris**

Sifat sensoris merupakan karakteristik fisik suatu produk yang menjadi indikator untuk mengukur kualitas dan daya terima suatu produk berdasarkan kemampuan indrawi panelis terhadap warna, aroma, rasa, dan tekstur. Parameter yang digunakan dalam pengujian BSFLO meliputi warna, aroma, kekentalan, dan *overall* kesukaan. Parameter aroma dan warna menjadi indikator penting untuk menentukan kualitas dari minyak yang dihasilkan (Redondo-Cuevas *et al.*, 2018).

### 2.9.1 Warna

Warna menjadi salah satu indikator penting kualitas minyak. Warna pada minyak disebabkan oleh keberadaan pigmen seperti karotenoid dan klorofil. Keberadaan pigmen tersebut dapat berasal dari jenis pakan yang digunakan untuk menumbuhkan BSFL. Hal ini sesuai dengan pendapat Tiranissa *et al.* (2024) yang menyatakan bahwa kandungan pigmen pada pakan akan memengaruhi pigmentasi tubuh BSFL. Pigmen dalam pakan tersebut akan terakumulasi dalam tubuh BSFL yang akan memengaruhi warna dari BSFLO (Chew *et al.*, 2025). Konsumen cenderung menyukai minyak dengan warna yang lebih terang karena berkaitan dengan produk minyak yang lebih berkualitas (Ramos-Escudero *et al.*, 2019).

Umumnya BSFLO memiliki warna yang cenderung lebih gelap jika dibandingkan dengan minyak kelapa dan minyak sawit. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Chang *et al.* (2025) yang menunjukkan bahwa BSFLO memiliki nilai kecerahan (*lightness*) yang lebih rendah sebesar 36,00 jika dibandingkan dengan nilai kecerahan minyak kelapa dan minyak sawit yang masing-masing sebesar 69,80 dan 69,20. Namun, adanya proses purifikasi atau pemurnian dengan adsorben diharapkan dapat meningkatkan kualitas BSFLO yang salah satunya dari segi warna. Proses *bleaching* dengan *bleaching earth* diketahui dapat mengadsorpsi pigmen sehingga dapat menurunkan intensitas warna dari produk minyak hingga 30% (Guliyev *et al.*, 2018).

### 2.9.2 Aroma

Aroma menjadi indikator penting kualitas minyak. Senyawa aroma berasal dari zat volatil yang larut dalam lipid. Zat volatil pada BSFLO dipengaruhi oleh jenis pakan yang diberikan. Perbedaan jenis pakan yang diberikan akan memengaruhi zat volatil yang berkontribusi terhadap aroma BSFLO (Beskin *et al.*, 2018). Substrat pakan yang berbeda akan memengaruhi komposisi mikroba dan metabolisme substrat oleh BSFL sehingga akan mengubah *volatile organic compounds* yang memengaruhi aroma pada produk turunan BSFL (Michishita *et al.*, 2023). Selain itu, perbedaan substrat pakan juga memengaruhi profil asam lemak yang terkandung dalam BSFL serta memengaruhi aroma BSFLO karena adanya perbedaan proses oksidasi dan degradasi asam lemak dalam menghasilkan aldehid dan keton (Cattaneo *et al.*, 2023).

### 2.9.3 Kekentalan

Kekentalan atau viskositas minyak menentukan seberapa mudah minyak dapat mengalir. Viskositas adalah ukuran yang menyatakan kekentalan suatu fluida yang berhubungan dengan hambatan untuk mengalir. Fluida yang sangat mudah mengalir disebut dengan viskositas rendah sedangkan fluida yang mengalir lambat adalah fluida yang memiliki viskositas tinggi (Putri *et al.*, 2024). Perbedaan viskositas antar jenis fluida disebabkan oleh gesekan antar molekul dalam cairan yang berbeda. Kekentalan minyak menjadi indikator penting kualitas minyak.

Viskositas minyak dipengaruhi oleh komposisi asam lemak, suhu, dan produk oksidasi (Insani *et al.*, 2017).

Panjang rantai dan derajat ketidakjenuhan asam lemak menentukan interaksi antarmolekul dan gaya *van der waals* yang akan memengaruhi viskositas minyak. Asam lemak jenuh membentuk struktur yang teratur dan berkontribusi terhadap peningkatan viskositas. Sedangkan asam lemak tak jenuh dengan ikatan rangkap yang lebih banyak menimbulkan lekukan struktural yang akan mengurangi kepadatan sehingga menghasilkan viskositas yang lebih rendah dan sensitivitas suhu yang lebih tinggi (Tucki *et al.*, 2025). Berikut merupakan viskositas BSFLO yang diperoleh dari beberapa penelitian terdahulu.

Tabel 3. Viskositas BSFLO

| Parameter       | BSFLO <sup>1)</sup> | Crude BSFLO <sup>2)</sup> | Purified BSFLO <sup>2)</sup> |
|-----------------|---------------------|---------------------------|------------------------------|
| Viskositas (cP) | 72,00 ± 3,65        | 100,4 ± 0,5               | 96 ± 0,14                    |

<sup>1)</sup>Chang *et al.* (2025); <sup>2)</sup>Mai *et al.* (2019)

Penelitian yang dilakukan oleh Chang *et al.* (2025) menggunakan substrat pakan 60% limbah roti + 40% limbah sayur dan buah menghasilkan viskositas BSFLO sebesar 72,00 cP. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Mai *et al.* (2019) yang menumbuhkan BSFL pada kotoran ayam dan sapi menghasilkan viskositas pada *crude* BSFLO 100,4 cP dan *purified* BSFLO sebesar 96 cP. Berdasarkan hasil tersebut, maka dapat diketahui bahwa perbedaan substrat pakan dapat memengaruhi nilai viskositas BSFLO. BSFL yang diberi pakan kotoran ayam dan sapi memiliki nilai viskositas yang lebih tinggi. Hal ini kemungkinan

dikarenakan masih tingginya zat pengotor pada BSFLO dan kualitas dari substrat pakan pada penelitian Chang *et al.* (2025) yang lebih baik, sehingga mendukung sintesis asam lemak dalam tubuh BSFL yang memengaruhi nilai viskositas. Selain itu, proses purifikasi minyak juga berpengaruh terhadap penurunan viskositas BSFLO karena dapat mengeliminasi zat pengotor yang terkandung dalam BSFLO.

## **2.10 Uji *Ranking***

Uji *ranking* merupakan salah satu metode uji organoleptik yang tergolong ke dalam uji pembedaan (*discriminative test*). Uji *ranking* dilakukan dengan meminta panelis untuk mengurutkan sampel pada suatu atribut sensoris tertentu dari intensitas tertinggi ke intensitas terendah. Urutan pertama menunjukkan intensitas yang paling tinggi sedangkan semakin besar peringkat menunjukkan intensitas yang semakin rendah. Aroma, warna, dan kekentalan menjadi atribut sensoris yang penting dalam uji *ranking* produk minyak.

Penelitian yang dilakukan oleh Chang *et al.* (2025) menyatakan bahwa warna BSFLO mentah lebih gelap dan lebih kuning daripada minyak kelapa serta olein sawit karena adanya pigmen alami serta memiliki aroma yang lebih menyengat. Perlakuan pemberian pakan limbah nabati yang spesifik dan terkontrol akan memengaruhi profil asam lemak BSFLO yang akan berdampak pada warna, aroma, dan kekentalan BSFLO. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Mai *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa komposisi asam lemak BSFLO bergantung pada substrat pakan.

## 2.11 Uji Hedonik

Uji hedonik merupakan salah satu metode uji organoleptik yang tergolong ke dalam uji kesukaan (*preference test*). Uji hedonik lebih bersifat subjektif, penilaian atribut sensoris berdasarkan tingkat kesukaan panelis. Uji hedonik menggunakan skala penerimaan atau rating, skala 1 menunjukkan tingkat kesukaan yang paling tidak disukai sedangkan semakin meningkatnya skala menunjukkan intensitas atribut sensoris yang semakin disukai (Mojir *et al.*, 2023).

Warna, aroma, kekentalan, dan *overall* kesukaan merupakan atribut sensoris yang penting dalam uji hedonik produk minyak. Uji hedonik bertujuan untuk mengetahui preferensi atau tingkat penerimaan panelis terhadap sampel produk yang diujikan. Penelitian yang dilakukan oleh Chang *et al.* (2025), menunjukkan bahwa panelis cenderung lebih menyukai minyak dengan warna kuning dan aroma khas minyak. Perlakuan pemberian pakan yang beragam dapat menghasilkan warna, aroma, dan kekentalan berbeda tiap sampel produk minyak yang akan memengaruhi *overall* kesukaan panelis terhadap sampel produk.

## **BAB III**

### **MATERI DAN METODE**

Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei tahun 2025 hingga Februari tahun 2026. Penelitian dilakukan di “Ben Resik” Farm Jl. Burangrang Raya Jangli, Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian serta Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang.

#### **3.1 Materi Penelitian**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah telur dan BSFL yang diperoleh dari peternakan lokal yang ditumbuhkan sendiri di Jl. Burangrang Raya Jangli (Indonesia), dedak yang diperoleh dari toko pakan “Rizki Anugrah Poultry Shop” Jl. Sendangmulyo, Tembalang (Indonesia), limbah roti yang diperoleh dari *home industry* roti “Lawu Roti” Jl. Meteseh (Indonesia), ampas kelapa yang diperoleh dari Pasar Rasamala Jl. Rasamala Raya (Indonesia), ampas tahu yang diperoleh dari sentra produksi tahu “Tahu Eco” Jl. Tandang Raya (Indonesia), limbah kulit kopi yang diperoleh dari kebun kopi Umbul Sidomukti Jl. Jimbaran Bandungan (Indonesia), *bleaching earth* merk Terram 1000 dari PT Dwi Karya Bentonit Indonesia (Indonesia), N-heksana (SupraSolv Merck, Jerman), tritridekanoin (Merck, Jerman), metil undekanoat (Merck, Jerman), metil tersier butil eter (MTBE) (Merck, Jerman), larutan natrium metoksida (Merck KgaA, Jerman), metanol (SupraSolv Merck, Jerman), dinatrium hidrogen sitrat

sesquihidrat (Merck, Jerman), natrium klorida (Merck, Jerman), dan air HPLC *grade* (Merck, Jerman).

### **3.2 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan terdiri dari rancangan penelitian, prosedur penelitian, pengujian parameter, dan analisis data. Metode penelitian diuraikan secara ringkas sebagai berikut:

#### **3.2.1 Rancangan Penelitian**

Penelitian dilakukan secara kuantitatif-deskriptif. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengolah dan menyajikan data hasil pengujian, sedangkan pendekatan deskriptif digunakan untuk menginterpretasikan hasil pengujian. Rancangan penelitian yang digunakan adalah perbedaan persentase perlakuan pakan selama penumbuhan BSFL. Jenis pakan yang digunakan adalah ampas kelapa, kulit kopi, ampas tahu, dan limbah roti.

Berbagai jenis pakan tersebut dicampur dengan persentase yang berbeda, masing-masing perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan. Pengujian parameter yang digunakan untuk menganalisis karakteristik dari BSFLO adalah profil asam lemak, visual warna, viskositas, uji *ranking*, dan uji hedonik. Terdapat 4 perlakuan pakan yang dilakukan yakni perlakuan kontrol menggunakan 100% limbah roti, perlakuan persentase ampas kelapa dan kulit kopi (KLKP) 50/20, 45/25, dan 40/30. Kulit kopi yang digunakan adalah jenis *arabica* bagian *pulp*

(*mesocarp*) beserta dengan kulit luar (*exocarp*). Berikut persentase perlakuan pakan yang digunakan untuk penumbuhan BSFL.

Tabel 4. Persentase Perlakuan Pakan

| Jenis Pakan  | Perlakuan (%) |               |               |               |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|              | Kontrol       | KLKP<br>50/20 | KLKP<br>45/25 | KLKP<br>40/30 |
| Limbah Roti  | 100           | 15            | 15            | 15            |
| Ampas Tahu   | 0             | 15            | 15            | 15            |
| Ampas Kelapa | 0             | 50            | 45            | 40            |
| Kulit Kopi   | 0             | 20            | 25            | 30            |

Keterangan:

Kontrol : limbah roti 100%;

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

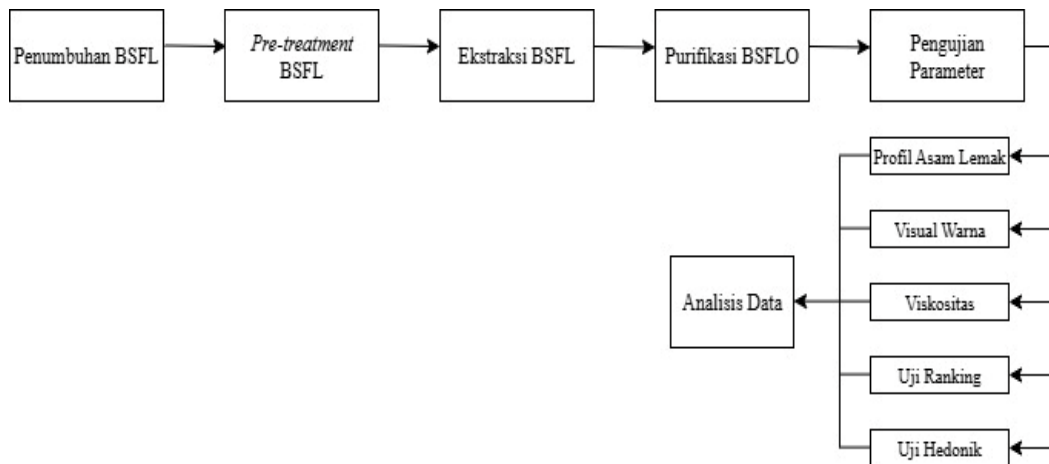
KLKP 45/25 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 45%, dan kulit kopi 25%;

KLKP 40/30 : limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 40%, dan kulit kopi 30%.

Limbah roti dipilih sebagai substrat pakan BSFL pada perlakuan kontrol dikarenakan memiliki kandungan nutrisi yang lengkap berupa karbohidrat, protein, dan lemak sehingga dapat mendukung sintesis asam lemak pada BSFL dengan baik yang akan terakumulasi dalam BSFLO. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Agustin *et al.* (2017) dan Ewald *et al.* (2020) limbah roti mengandung protein 10,25%, lemak 13,42%, dan karbohidrat hingga 79%.

### 3.2.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan dalam 4 tahapan, yaitu penumbuhan BSFL, *pre-treatment* BSFL, ekstraksi *fresh crude oil*, dan purifikasi *crude oil*. Pengujian profil asam lemak, visual warna, viskositas, dan sensoris yang telah ditentukan untuk menganalisis karakteristik BSFLO.



Ilustrasi 6. Diagram Alir Prosedur Penelitian

#### a. Penumbuhan *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL)

Proses penumbuhan BSFL setiap perlakuan dan ulangan menggunakan 2 g telur BSFL. Telur BSFL ditetaskan pada media berupa dedak yang dibasahi menggunakan air dengan perbandingan 1:1 pada *box* plastik. Setiap hari dilakukan pengecekan kelembapan, jika terlalu kering maka dilakukan penyemprotan menggunakan air sebanyak  $\pm 70$  mL. Penetasan telur hingga menjadi *baby maggot* berlangsung selama 7 hari. Setelah itu, *baby maggot* dipindahkan ke baskom persegi panjang berukuran 53 x 38 x 17 cm untuk diberi perlakuan pakan awal berupa limbah roti dan nasi sebanyak 1:1 hingga hari ke-14 atau sudah memasuki tahap larva. Limbah roti diberi perlakuan awal berupa perendaman dengan air sebanyak 1:1 yaitu 50 g limbah roti:50 mL air setiap pemberian pakan, setelah itu dilakukan pencampuran dengan nasi.

Pemberian pakan awal dilakukan pada hari ke-7 dan ke-11 masing-masing sebanyak 1 kg, sehingga total pemberian pakan awal adalah 2 kg. Memasuki hari ke-14, larva dipindahkan ke baskom persegi panjang yang lebih luas dengan ukuran 60 x 45 x 17 cm untuk diberi pakan sesuai dengan perlakuan sebanyak 1 kg setiap harinya. Limbah roti dan ampas kelapa diberi perlakuan awal berupa perendaman dengan air sebanyak 1:1 berdasarkan persentase penggunaan limbah roti dan ampas kelapa sebagai substrat pakan. Sejak hari ke-14 dilakukan penimbangan BSFL secara *sampling* sebanyak 60 ekor BSFL 3 kali ulangan, jika berat BSFL sudah menunjukkan berat yang konstan dapat dilakukan pemanenan BSFL. Pemanenan dilakukan jika penimbangan antar ulangan menunjukkan nilai yang konstan atau tidak meningkat sebanyak  $\pm 1$  g. Berat akhir rata-rata BSFL yang diperoleh dari seluruh perlakuan adalah  $\pm 5,6$  g. Hal ini dikarenakan BSFL yang memiliki berat konstan atau menurun menandakan bahwa kebutuhan energinya telah terpenuhi, BSFL akan memasuki tahap prepupa, dan akan berhenti mengonsumsi substrat pakan (Eriksen, 2022).

#### **b. *Pre-treatment Black Soldier Fly Larvae (BSFL)***

Proses *pre-treatment* BSFL dilakukan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hurtado-Ribeira *et al.* (2023) dengan modifikasi. BSFL dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan kotoran lalu dimatikan dengan proses *blanching* pada suhu 90°C selama 20 detik. BSFL yang telah melalui proses *blanching* kemudian dikeringkan melalui proses pengeringan termal secara konduksi menggunakan *cabinet dryer* (Maksindo, Indonesia). Proses pengeringan berlangsung selama 24

jam pada suhu 65°C dengan menggunakan *stainless steel tray* dan dilakukan pengadukan secara bertahap hingga diperoleh BSFL kering.

#### **c. Ekstraksi *Fresh Crude Oil* (FCO)**

Ekstraksi FCO dilakukan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kierończyk *et al.* (2022) dan Mai *et al.* (2019). BSFL kering hasil panen dari setiap perlakuan dan ulangan diekstraksi secara mekanis menggunakan *screw press oil extractor* (Dearok-B03, China) pada suhu 50°C. Hasil ekstraksi berupa FCO dan BSFLM yang merupakan *by product*. FCO kemudian diseparasi menggunakan *refrigerated centrifuge* (OHAUS Frontier 5718R, Jerman) dengan kecepatan 6000 rpm selama 15 menit sehingga diperoleh CO.

#### **d. Purifikasi *Crude Oil* (CO)**

Proses purifikasi *crude oil* dilakukan untuk menghilangkan *impurities* yang dapat memengaruhi kualitas BSFLO. *Bleaching* menjadi salah satu proses purifikasi yang esensial, bertujuan untuk menghilangkan zat pengotor dalam minyak. *Bleaching* dapat menghilangkan fosfolipid, pigmen warna, logam berat, dan produk oksidasi minyak sehingga dapat memperbaiki konsistensi, visual, dan *flavor* dari minyak (Laska-Zieja *et al.*, 2020). Proses *bleaching* dilakukan dengan menggunakan adsorben berupa *bleaching earth* berdasarkan metode yang dilakukan pada penelitian oleh Petrović *et al.* (2023); Xiong *et al.* (2020); Veronika *et al.* (2023). Sampel BSFLO yang telah disentrifugasi ditambahkan adsorben dengan konsentrasi 7,5% (b/b) lalu dipanaskan dengan *hotplate* (IKA C-MAG HS

7, Jerman) pada suhu 90°C diikuti proses pengadukan menggunakan *overhead stirrer* (IKA RW-20 Digital, Jerman) dengan kecepatan 750 rpm selama 40 menit. Sampel BSFLO yang telah homogen dilakukan separasi menggunakan sentrifugasi dengan kecepatan 6000 rpm selama 15 menit. Proses separasi bertujuan untuk memisahkan adsorben dari BSFLO.

### **3.2.3 Pengujian Parameter**

Pengujian parameter dilakukan untuk menganalisis karakteristik BSFLO hasil purifikasi. Pengujian parameter yang dilakukan yaitu profil asam lemak, visual warna, viskositas, uji *ranking*, dan uji hedonik.

#### **a. Metode Pengujian Profil Asam Lemak**

Pengujian profil asam lemak dilakukan berdasarkan metode dari AOAC (2000); ISO 16958:2015; dan Ratnayake *et al.* (2006). Pengujian profil asam lemak dengan metode NaOCH<sub>3</sub> – Metanol (transesterifikasi basa) dengan *Gas Chromatography-Flame Ionization Detector* (GC-FID) (Perkin Elmer, USA) bekerja dengan mengubah trigliserida (*Fatty Acid Methyl Esters*) agar dapat dianalisis. Langkah pertama diawali dengan membuat larutan standar FAME dalam pelarut heksana dengan konsentrasi akhir sampel FAME 20 mg/mL, larutan *standart solution* (standar internal), larutan transesterifikasi, dan larutan netralisasi.

- Pembuatan Larutan Standar FAME

Pembuatan larutan standar FAME dilakukan dalam labu volumetrik 100 mL, 25 mL larutan stok standar jenuh, 25 mL larutan stok standar tak jenuh tunggal, dan 25 mL larutan stok standar tak jenuh ganda dimasukkan ke dalam labu volumetrik. Kemudian, disesuaikan dengan N-heksana.

- Pembuatan Larutan *Standart Solution*/Standar Internal

Pembuatan larutan *standart solution* dilakukan dalam labu volumetrik 250 mL. 500 mg tritridekanoin dan 500 mg metil undekanoat dengan ketelitian 0,1 mg dilarutkan ke dalam labu serta ditambahkan *Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE)* hingga mencapai tanda batas dan disimpan pada suhu 4 °C di tempat gelap.

- Pembuatan Larutan Transesterifikasi

Pembuatan larutan transesterifikasi dilakukan dalam labu volumetrik 300 mL. 50 mL larutan natrium metoksida 30% m/v ditambahkan dan diaduk perlahan dengan 250 mL metanol menggunakan *magnetic stirrer*. Larutan transesterifikasi didinginkan hingga suhu ruang dan ditambahkan metanol hingga mencapai batas yang ditentukan. Larutan transesterifikasi disimpan pada suhu 4 °C di tempat gelap.

- Pembuatan Larutan Netralisasi

Pembuatan larutan netralisasi menggunakan 50,0 g dinatrium hidrogen sitrat sesquihidrat dan 75,0 g natrium klorida dalam labu volumetrik 500 mL. Dilarutkan dalam 450 mL air menggunakan *magnetic stirrer*, lalu ditambahkan air hingga mencapai tanda batas. Larutan netralisasi disimpan pada suhu 4 °C di tempat gelap.

Setelah semua larutan diperoleh, dilakukan pengujian dengan langkah-langkah sebagai berikut.

Sampel ditimbang 50 mg ke dalam tabung sentrifugasi berukuran 25 mL dengan tutup ulir. Selanjutnya ditambahkan 5 mL *standart solution*/standar internal dan 5 mL larutan transesterifikasi, selanjutnya dilakukan transesterifikasi secara kedap udara selama 10 detik menggunakan *vortex mixer* (Thermo Scientific, USA). Selanjutnya, 3 menit setelah waktu mulai, tabung dibuka, ditambahkan 2 mL n-heksana. Setelah 30 detik, ditambahkan 10 mL larutan netralisasi hingga reaksi transesterifikasi berhenti yaitu setelah penambahan tetes akhir larutan netralisasi. Aduk perlahan menggunakan *vortex mixer* selama 30 detik. Waktu transesterifikasi kurang lebih berlangsung selama 4 menit.

Tahap selanjutnya adalah pemisahan fase menggunakan sentrifugasi selama 30 detik untuk memisahkan fase organik di bagian atas (FAME sampel dan heksana) serta bagian bawah (fase metanol, gliserol, dan air). Selanjutnya, pipet fase organik ke dalam vial berukuran 2 mL. Sampel kemudian diinjeksikan menggunakan *injection syringe* (Agilent Technologies, USA) ke dalam sistem GC dengan detektor FID menggunakan mode injeksi terpisah (*split injection mode*) 1/100 ke dalam kolom kapiler DB FastFAME (Agilent Technologies, USA) dengan panjang 60 m x 0,25 mm, diameter dalam sebesar 0,25 mm dan ketebalan fase 0,25  $\mu\text{m}$  dengan gas helium sebagai gas pembawa. Larutan standar FAME dianalisis terpisah dengan prosedur dan kondisi GC yang sama untuk identifikasi puncak asam lemak. Volume injeksi dan suhu injektor (*inlet*) masing-masing adalah 1  $\mu\text{L}$  dan 230°C.

**Interpretasi hasil dilakukan sebagai berikut:**

Perhitungan kadar asam lemak dilakukan metode normalisasi area, yaitu semua komponen kandungan asam lemak pada sampel terwakili pada hasil kromatogram, sehingga jumlah area di bawah puncak mewakili 100 % kandungan asam lemak.

$$\text{Kadar asam lemak injeksi (\%)} = \frac{A_i}{\sum A_i} \times 100 \%$$

Keterangan:

$A_i$  = Area puncak yang sesuai dengan komponen/kelompok asam lemak i

$\sum A_i$  = Total semua luas area puncak

Untuk menghitung kandungan asam lemak (jenuh dan tak jenuh) dalam sampel dihitung dengan rumus:

$$\text{Kadar asam lemak (\%)} = \text{Kadar as. lemak injeksi (\%)} \times \text{Kadar lemak (\%)}$$

**b. Metode Pengujian Visual Warna**

Pengujian visual warna BSFLO dilakukan berdasarkan metode Siswantoro (2019) dengan modifikasi. Pengambilan gambar visual warna BSFLO memerlukan sumber pencahayaan yang konstan, latar belakang yang konsisten, jarak kamera tetap, dan menggunakan wadah sampel bening. Pengambilan gambar visual warna BSFLO dilakukan dengan memasukkan sampel sebanyak 5 mL ke dalam tabung reaksi. Pengambilan gambar dilakukan dengan meletakkan tabung reaksi yang berisi BSFLO secara sejajar, pencahayaan yang cukup, latar belakang berwarna putih, dan tidak terdapat bayangan. Hasil visual warna bertujuan untuk mendukung hasil uji sensoris parameter warna kuning pada BSFLO.

### c. Metode Pengujian Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan berdasarkan metode Danzi *et al.* (2025) dengan modifikasi. Pengujian viskositas menggunakan *rheometer* Lamy DSR-500 (Lamy Rheology Instrument, Prancis) dengan *spindle* MS-DIN 11 (Lamy Rheology Instrumen, Prancis). Pengukuran dilakukan dengan konstan *shear rate* 50 s<sup>-1</sup> selama 600 s pada suhu ruang (25 °C ± 2). Sampel BSFLO sebanyak 25 mL dimasukkan ke dalam wadah sampel (*small volume package*). Kemudian kepala pengukur disesuaikan hingga *spindle* tenggelam mengenai sampel dan pengukuran dimulai.

### d. Metode Pengujian *Ranking* (Warna, Aroma, dan Kekentalan)

Pengujian *ranking* dilakukan berdasarkan metode dari ISO 8587:2006. Pengujian dilakukan dengan parameter warna, aroma, dan kekentalan menggunakan panelis tidak terlatih sebanyak 25 orang. Sebanyak 15 mL sampel dimasukkan ke dalam *cup* plastik bening dengan tutup. Sampel yang diberikan sebanyak 4 terdiri dari perlakuan kontrol (100% limbah roti), KLKP 50/20, 45/25, dan 40/30 yang akan diberikan kepada panelis dengan kode acak yang berbeda. Panelis melakukan uji *ranking* dengan mengurutkan seluruh sampel dari ranking 1 hingga 4. Parameter warna diurutkan dari kode sampel dengan warna sangat kuning pada urutan pertama hingga sangat tidak kuning pada urutan terakhir.

Parameter aroma diurutkan dari kode sampel dengan aroma sangat gurih pada urutan pertama hingga sangat tidak gurih pada urutan terakhir. Sementara itu,

parameter kekentalan diurutkan dari kode sampel yang memiliki kekentalan sangat kental pada urutan pertama hingga sangat tidak kental pada urutan terakhir. Panelis juga diberi bubuk kopi untuk menetralkan indra penciuman ketika melakukan pengujian dari satu sampel ke sampel yang lain. Persetujuan etika untuk pengujian *ranking* diperoleh dari Komisi Etik Penelitian Kesehatan Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro No. 345/EC/KEPK/FK-UNDIP/XII/2025 yang terdapat pada lampiran 1.

**e. Metode Pengujian Hedonik (Warna, Aroma, Kekentalan, dan *Overall*)**

Pengujian hedonik dilakukan berdasarkan metode dari SNI 2346:2011. Pengujian dilakukan menggunakan panelis tidak terlatih sebanyak 25 orang. Sebanyak 15 mL sampel dimasukkan ke dalam *cup* plastik bening dengan tutup. Sampel yang diberikan sebanyak 4 terdiri dari perlakuan kontrol (100% limbah roti), KLKP 50/20, 45/25, dan 40/30 yang akan diberikan kepada panelis dengan kode acak yang berbeda. Panelis kemudian memberikan penilaian terhadap parameter warna kuning, aroma gurih, kekentalan, dan *overall* kesukaan ke dalam skala penerimaan yang terdiri dari (1) sangat tidak suka, (2) tidak suka, (3) cukup suka, (4) suka, dan (5) sangat suka. Panelis juga diberi bubuk kopi untuk menetralkan indra penciuman ketika melakukan pengujian dari satu sampel ke sampel yang lain. Persetujuan etika untuk pengujian hedonik diperoleh dari Komisi Etik Penelitian Kesehatan Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro No. 345/EC/KEPK/FK-UNDIP/XII/2025 yang terdapat pada lampiran 1.

### 3.2.4 Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengujian profil asam lemak dan viskositas diolah menggunakan *software* Microsoft Excel tahun 2019 serta visual warna dianalisis dengan metode deskriptif. Data uji *ranking* dan hedonik dianalisis menggunakan uji *non-parametric* yaitu uji *Kruskall-Wallis*. Apabila terdapat pengaruh nyata dilakukan pengujian lebih lanjut dengan *Mann-Whitney* untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan. Uji *non-parametric* diolah menggunakan *software* IBM SPSS *Statistics* 26.