

**ANALISIS KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA MINYAK
LARVA *BLACK SOLDIER FLY* BERDASARKAN VARIASI
SUBSTRAT AMPAS KELAPA DAN KULIT KOPI**

SKRIPSI

Oleh

AMARA BILQISTH DARDIRI



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

ANALISIS KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA MINYAK LARVA
BLACK SOLDIER FLY BERDASARKAN VARIASI SUBSTRAT
AMPAS KELAPA DAN KULIT KOPI

Oleh

AMARA BILQISTH DARDIRI
NIM : 23020122140164

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 : Amara Bilqisth Dardiri
N I M : 23020122140164
Program Studi : S-1 Teknologi Pangan

dengan ini menyatakan sebagai berikut :

1. Skripsi yang berjudul: **Analisis Karakteristik Fisikokimia Minyak Larva *Black Soldier Fly* Berdasarkan Variasi Substrat 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 mengakui 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, 19 Mei 2026
Penulis,



(Amara Bilqisth Dardiri)

Mengetahui :

Pembimbing Utama

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

Pembimbing Anggota

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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : ANALISIS KARAKTERISTIK FISIKOKIMIA
MINYAK LARVA *BLACK SOLDIER FLY*
BERDASARKAN VARIASI SUBSTRAT
AMPAS KELAPA DAN KULIT KOPI

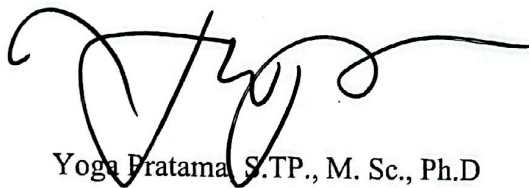
Nama Mahasiswa : AMARA BILQISTH DARDIRI

NIM : 23020122140164

Program Studi/Fakultas : S-1 TEKNOLOGI PANGAN/PETERNAKAN
DAN PERTANIAN

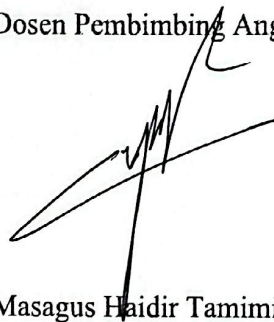
Telah disidangkan dihadapan Tim Penguji
dan dinyatakan lulus pada tanggal **30 JUN 2026**

Dosen Pembimbing Utama



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

Dosen Pembimbing Anggota



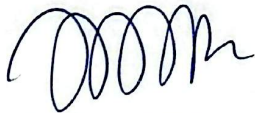
Masagus Haidir Tamimi, S.T.P., M.Sc.

Ketua Program Studi



Ahmad N. Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.

Ketua Panitia Ujian Akhir Program



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

Dekan



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

Ketua Departemen Pertanian



Ahmad N. Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D

RINGKASAN

AMARA BILQISTH DARDIRI. 23020122140164. 2026. Analisis Karakteristik Fisikokimia Minyak Larva *Black Soldier Fly* Berdasarkan Variasi Substrat Ampas Kelapa dan Kulit Kopi (Dosen Pembimbing: **YOGA PRATAMA** dan **MASAGUS HAIDIR TAMIMI**).

Meningkatnya kebutuhan akan sumber minyak berkelanjutan mendorong pemanfaatan *Black Soldier Fly Larvae Oil* (BSFLO) sebagai minyak alternatif. Karakteristik BSFLO dipengaruhi oleh substrat pakan larva, termasuk ampas kelapa yang kaya lemak dan kulit kopi yang mengandung senyawa bioaktif. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji karakteristik fisikokimia BSFLO yang dihasilkan dari penggunaan kombinasi substrat tersebut.

Penelitian ini berlangsung selama sembilan bulan yaitu dari Juni 2025 – Februari 2026 di Peternakan Maggot Jangli Jl. Burangrang Raya Jangli, Semarang, Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Ternak, serta Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik fisik berupa kadar air dan *smoke point*, serta kimia yaitu kadar protein, kadar lemak kasar, kadar FFA, dan bilangan peroksida BSFLO yang dibudidayakan pada berbagai komposisi pakan campuran ampas kelapa dan kulit kopi. Materi utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi BSFL, limbah roti, ampas tahu, ampas kelapa, serta kulit kopi yang diperoleh dari berbagai sumber lokal di Semarang.

Rancangan penelitian menggunakan metode eksperimen deskriptif kuantitatif yang terdiri dari empat perlakuan: kontrol (100% limbah roti) serta variasi campuran ampas kelapa dan kulit kopi (KLKP 50/20, KLKP 45/25, dan KLKP 40/30) dengan tiga kali ulangan. Analisis parameter fisikokimia dilakukan menggunakan berbagai reagen kimia meliputi kloroform, asam asetat glasial, kalium iodida, akuades, larutan amilum, natrium tiosulfat, etanol, indikator fenoltalein, natrium hidroksida, selenium, asam sulfat pekat, *bleaching earth*, asam borat, indikator MR-MB, serta asam klorida.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan proporsi kulit kopi dan pengurangan ampas kelapa secara konsisten menurunkan kadar air (terendah 0,05% pada KLKP 40/30), kadar protein (terendah 0,01% pada KLKP 40/30), dan kadar FFA (terendah 0,73% pada KLKP 40/30). Sebaliknya, perlakuan tersebut meningkatkan kadar lemak kasar (tertinggi 99,94% pada KLKP 40/30) dan nilai *smoke point* (tertinggi 164,45°C pada KLKP 40/30). Sementara itu, nilai bilangan peroksida terendah ditemukan pada perlakuan KLKP 50/20 (0,36 MeqO₂/Kg). Secara keseluruhan, variasi substrat menghasilkan perbedaan nilai pada parameter fisik dan kimia BSFLO yang diamati, dengan rentang nilai yang masih berada dalam kisaran kualitas minyak yang baik.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian berjudul “Analisis Karakteristik Fisikokimia Minyak Larva *Black Soldier Fly* Berdasarkan Variasi Substrat Ampas Kelapa dan Kulit Kopi” tepat pada waktunya. Dalam penelitian ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, arahan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada nama-nama berikut:

1. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Dardiri (Alm.) dan Ibu Nur Hasanah Bustam, kedua abang penulis yaitu Mikael Adlan Husni dan Muhammad Habel Baihaqi, serta kakak dan keponakan penulis yaitu Timang Herta Islami dan Kikanaya Arifa Husni yang telah memberikan dukungan penuh, doa yang tidak putus, fasilitas, serta bantuan dan motivasi kepada penulis. Secara khusus, penulis mengenang Bapak Dardiri (alm.) yang telah berpulang sejak awal perjalanan kuliah penulis, terima kasih atas cinta, didikan, dan pengorbanan yang telah diberikan semasa hidup. Meski tidak hadir secara fisik untuk menyaksikan pencapaian ini, kenangan, nasihat, dan harapan beliau senantiasa hidup dalam setiap langkah penulis;
2. Bapak Yoga Pratama, S.T.P., M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah menjadi sosok pembimbing, pendengar, sekaligus motivator bagi penulis selama perjalanan penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas setiap waktu yang telah diluangkan, kesabaran dalam memberikan arahan, serta perhatian yang diberikan di tengah berbagai tantangan penelitian. Setiap masukan, diskusi, dan pembelajaran yang diberikan tidak hanya membantu penulis menyelesaikan skripsi ini, tetapi juga memberikan banyak pelajaran berharga yang akan terus dikenang;
3. Bapak Masagus Haidir Tamimi, S.T.P., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penelitian dan penyusunan penelitian;
4. 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;

5. Bapak Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D. selaku Ketua Program Studi S-1 Teknologi Pangan, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, yang telah memberikan izin dan dukungan kepada penulis untuk melakukan penelitian ini;
6. Bapak Dr. Rafli Zulfa Kamil, S.T.P selaku dosen wali yang telah memberikan pengarahan, kesempatan, dan bimbingan kepada penulis dari awal semester hingga ujian akhir;
7. Dosen penguji ujian akhir Ibu Dr. Sri Mulyani, S.Pt., M.P. dan Ibu Ulil Afidah, S.Pt., M.Sc. serta dosen panitia ujian akhir Bapak Hega Bintang Pratama Putra, S.T.P., M.Sc., yang telah memberikan apresiasi, saran, pertanyaan, dan masukan dalam penelitian ini agar menjadi lebih baik;
8. 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;
9. Semua pimpinan dan staf Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan, Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian yang telah memberikan bantuan dan kesempatan dalam melaksanakan penelitian;
10. Rekan penelitian penulis saudari Amiira Azizah dan Aulia Azzahra atas segala kerja sama yang telah membantu seluruh proses penelitian skripsi dari awal hingga akhir. Terima kasih atas kerja keras, pengorbanan waktu, kesabaran, semangat, serta kehangatan yang telah diberikan. Berbagai tantangan dan hambatan dapat kita lalui karena adanya dukungan, kerja sama, dan rasa saling percaya selama penelitian ini berlangsung;
11. Teman-teman baik penulis Amelia Sriyantika, Amiira Azizah, Aqilah Nur Azizah, Ayesha Putriadvi, Erika Nur Widyawati, dan Dhiya siti Aisyah yang telah menemani berjuang bersama sejak awal semester hingga akhir semester. Terima kasih karena telah menjadi tempat berbagi cerita, bertukar pikiran, dan saling menguatkan selama perjalanan akademik ini;
12. Semua teman-teman penulis dari Program Studi Teknologi Pangan Tahun

2022 yang telah meluangkan waktu dan membantu penulis dalam proses penelitian hingga akhir penulisan skripsi;

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini memiliki kekurangan baik teknis penulisan maupun materi sehingga penulis mengharapkan kritik, saran, dan masukan yang bersifat membangun untuk perbaikan kedepannya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak bagi penulis, bagi perusahaan ataupun bagi para pembaca umumnya.

Semarang, 23 Juni 2026

Amara Bilqisth Dardiri

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR ILUSTRASI	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan dan Manfaat	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. <i>Black Soldier Fly Larvae</i> (BSFL)	5
2.2. <i>Black Soldier Fly Larvae Oil</i> (BSFLO)	8
2.3. Limbah Nabati sebagai Substrat Pakan	10
2.4. Karakteristik Fisikokimia BSFLO	16
BAB III. MATERI DAN METODE	24
3.1. Materi	24
3.2. Metode	25
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1. Hasil Pengujian Kadar Air BSFLO	34
4.2. Hasil Pengujian Kadar Protein BSFLO	37
4.3. Hasil Pengujian Kadar Lemak Kasar BSFLO	41
4.4. Hasil Pengujian Kadar FFA BSFLO	43
4.5. Hasil Pengujian Bilangan Peroksida BSLO	46
4.6. Hasil Pengujian <i>Smoke Point</i> BSFLO	51
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	54
5.1. Simpulan	54

5.2. Saran	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN.....	69
RIWAYAT HIDUP.....	81

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Karakteristik BSFLO berdasarkan Perbedaan Substrat Pakan	10
2. Komposisi Perlakuan Pakan	25
3. Hasil Pengujian Kadar Air BSFLO	35
4. Hasil Pengujian Kadar Protein BSFLO	38
5. Hasil Pengujian Kadar Lemak Kasar BSFLO	41
6. Hasil Pengujian Kadar FFA BSFLO	44
7. Hasil Pengujian Bilangan Peroksida BSFLO	46
8. Profil Asam Lemak BSFLO	48
9. Hasil Pengujian <i>Smoke Point</i> BSFLO	52

DAFTAR ILUSTRASI

Nomor	Halaman
1. Siklus Hidup BSFLO	6
2. Diagram Alir Prosedur Penelitian	26
3. Grafik Kadar Air BSFLO	34
4. Grafik Kadar Protein BSFLO	38
5. Grafik Kadar Lemak Kasar BSFLO	41
6. Grafik Kadar FFA BSFLO	43
7. Grafik Bilangan Peroksida BSFLO	46
8. Grafik <i>Smoke Point</i> BSFLO	51

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1. Data Hasil Pengujian Kadar Air BSFLO	69
2. Data Hasil Pengujian Kadar Protein BSFLO	73
3. Data Hasil Pengujian Kadar Lemak Kasar BSFLO	73
4. Data Hasil Pengujian Kadar FFA BSFLO	75
5. Data Hasil Pengujian Bilangan Peroksida BSFLO	77
6. Dokumentasi Kegiatan	79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Minyak merupakan komponen penting dalam sistem pangan karena berperan sebagai sumber energi, pembentuk tekstur, pembawa senyawa *flavor*, serta media penghantar vitamin larut lemak. Kualitas minyak menjadi faktor penting dalam menentukan stabilitas, keamanan dan potensi pemanfaatannya dalam berbagai aplikasi pangan (Anjani dan Khabiruddin, 2017; Ibrahim *et al.* 2026). Seiring meningkatnya kebutuhan minyak dan tuntutan pemanfaatan sumber daya berkelanjutan, pengembangan sumber minyak alternatif menjadi salah satu fokus dalam sistem pangan modern. Menurut Mannucci *et al.* (2023) pertumbuhan populasi mendorong kebutuhan akan sumber minyak berkelanjutan sebagai alternatif minyak konvensional dalam aplikasi pangan dan pakan. Salah satu sumber yang berpotensi dikembangkan adalah minyak berbasis serangga, yang memiliki profil asam lemak beragam, serta dapat diproduksi secara lebih efisien dan ramah lingkungan dibandingkan minyak nabati konvensional (Cruz *et al.* 2025).

Black Soldier Fly (BSF), atau *Hermetia illucens*, merupakan serangga yang banyak dikembangkan sebagai agen biokonversi untuk limbah organik. Larva BSF atau yang dikenal sebagai *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL) mampu mengonsumsi bahan organik dengan efisien dan mengubahnya menjadi biomassa kaya protein dan lipid. Studi oleh Zulkifli *et al.* (2022) melaporkan bahwa BSFL dapat mengonsumsi limbah nabati seperti sisa buah dan sayur dengan efisiensi

konsumsi yang lebih tinggi dibandingkan organisme dekomposer lainnya. Hal ini didukung oleh Lalander *et al.* (2019) yang menyatakan bahwa BSFL mampu mengonversi berbagai substrat organik menjadi biomassa larva dengan kandungan protein 38-44% dan lemak 30-32% dari berat kering.

Lemak yang terakumulasi dalam tubuh BSFL dapat diekstraksi menjadi *Black Soldier Fly Larvae Oil* (BSFLO). Menurut Divariu *et al.* (2025) hasil ekstraksi dan komposisi BSFLO ini sangat dinamis karena metabolisme lemak BSFL akan beradaptasi secara langsung terhadap jenis nutrisi pada substrat pakannya. BSFLO kaya akan asam lemak, terutama asam laurat (C12:0) dan asam oleat (C18:1) yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber minyak alternatif. Selain komposisi asam lemak, kualitas BSFLO juga ditentukan oleh karakteristik fisikokimia seperti kadar air, kadar asam lemak bebas (FFA), dan bilangan peroksida yang dapat mengalami perubahan akibat perlakuan dan komposisi substrat yang digunakan (Mai *et al.* 2019; Chang *et al.* 2025).

Di Indonesia, ampas kelapa dan kulit kopi merupakan hasil samping agroindustri yang melimpah namun belum dimanfaatkan secara optimal. Ampas kelapa mengandung residu lemak yang sangat potensial dimanfaatkan sebagai bahan baku biokonversi (Vieira *et al.* 2024). Kandungan lemak yang tinggi pada ampas kelapa berpotensi meningkatkan akumulasi lemak pada BSFLO, sebagaimana dilaporkan oleh Nguyen *et al.* (2020) bahwa pakan dengan kandungan lemak tinggi mampu meningkatkan akumulasi lemak BSFL.

Disisi lain, kulit kopi kaya akan senyawa bioaktif seperti polifenol yang berpotensi mempengaruhi profil asam lemak tak jenuh ganda (PUFA) serta meningkatkan stabilitas oksidatif BSFLO sehingga lebih tahan terhadap

ketengikan (Ruschioni *et al.* 2024). Perbedaan komposisi nutrisi dan senyawa bioaktif dari kedua substrat tersebut diduga akan menghasilkan karakteristik fisikokimia BSFLO yang berbeda.

Beberapa penelitian telah melaporkan pengaruh substrat terhadap karakteristik BSFLO. Penelitian Srisuksai *et al.* (2024) melaporkan bahwa BSFLO yang diberi pakan campuran endosperma kelapa dan ampas tahu didominasi oleh asam laurat dan memiliki sifat antioksidan. Sejalan dengan hal tersebut, penelitian oleh Fischer *et al.* (2021) menunjukkan bahwa pemberian pakan campuran ampas kopi dan donat menghasilkan BSFL dengan nutrisi seimbang dan meningkatkan produksi. Sementara itu, penelitian oleh Chang *et al.* (2025) menunjukkan bahwa BSFL dengan pakan campuran roti dan sayuran memiliki nilai peroksida dan kadar FFA yang relatif rendah, yang menunjukkan bahwa kualitas minyak masih berada dalam kondisi baik sebelum mengalami perlakuan pemanasan.

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji pengaruh substrat terhadap pertumbuhan BSFL dan komposisi minyaknya, namun belum ada penelitian yang secara khusus mengenai pengaruh variasi ampas kelapa dan kulit kopi terhadap karakteristik fisikokimia BSFLO. Padahal kedua bahan tersebut memiliki komposisi nutrisi dan senyawa bioaktif yang berbeda sehingga berpotensi menghasilkan karakteristik minyak yang berbeda pula. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik fisikokimia BSFLO yang dihasilkan dari campuran roti, ampas tahu, dan variasi ampas kelapa serta kulit kopi, sehingga dapat memberikan dasar ilmiah dalam pengembangan sumber minyak alternatif berbasis pemanfaatan hasil samping agroindustri.

1.2. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik fisikokimia minyak BSFL yang dihasilkan dari berbagai komposisi pakan campuran ampas kelapa dan kulit kopi. Manfaat dari penelitian ini adalah tersedia informasi ilmiah mengenai pemanfaatan hasil samping agroindustri untuk pengembangan sumber minyak alternatif berkelanjutan.

BAB II

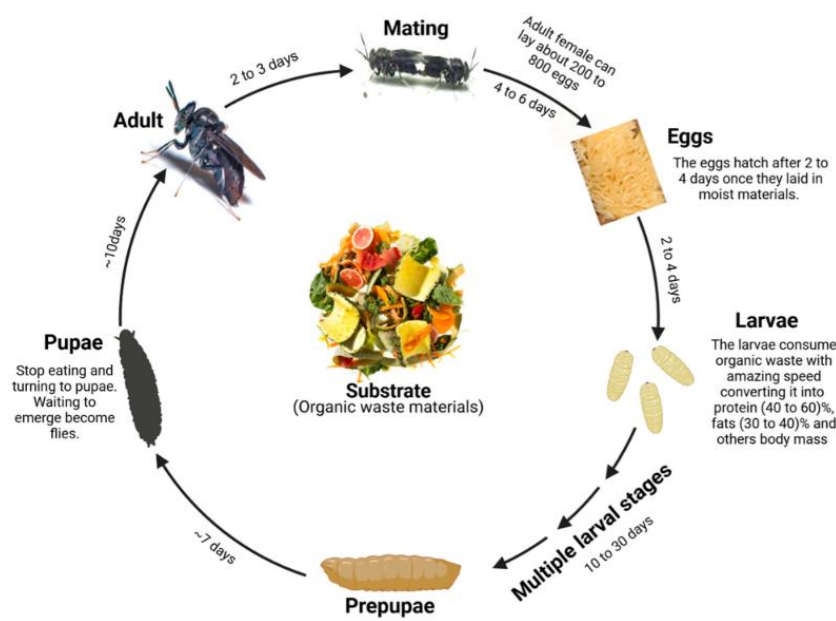
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL)

Hermetia illucens, atau *Black Soldier Fly* (BSF), merupakan spesies lalat dari famili Stratiomyidae yang banyak ditemukan di wilayah tropis dan subtropis. Meskipun berasal dari sabana Amerika, spesies ini memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan. BSF dapat tumbuh optimal pada lingkungan hangat dengan suhu sekitar 27°C dan kelembapan udara pada rentang 30% hingga 90% (Silva dan Hesselberg, 2020). Larva BSF atau *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL) memanfaatkan berbagai bahan organik sebagai media tumbuh, seperti limbah makanan, residu pertanian, dan kotoran ternak, dengan tingkat adaptasi yang tinggi terhadap beragam substrat (Rehman *et al.* 2022). Kemampuan ini menjadikan BSFL unggul dalam mengonversi bahan organik menjadi biomassa yang bernilai nutrisi tinggi, sementara sisa hasil penguraian dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik.

Perkembangan BSF berlangsung melalui empat fase, yaitu telur, larva, pupa, dan imago (lalat dewasa). Siklus hidupnya berlangsung sekitar 45 hari, diawali dengan fase telur memerlukan inkubasi 3-4 hari. Seekor betina dewasa mampu menghasilkan 300-900 butir telur yang sangat sensitif terhadap kelembapan udara (Rampure dan krishnakumar, 2023). Setelah menetas, BSFL melewati enam tahapan instar pertumbuhan intensif sebelum memasuki masa prepupa yang ditandai dengan perubahan warna kutikula menjadi gelap serta perilaku migrasi fotofobik untuk mencari lokasi pupasi yang aman (Yang dan Tomberlin, 2020).

Selanjutnya, pada fase pupa, proses metamorfosis berlangsung selama 10-14 hari di dalam puparium hingga akhirnya muncul imago. Lalat dewasa memiliki umur hidup sekitar 5-9 hari tanpa mengonsumsi pakan padat karena memiliki alat mulut yang tereduksi (*vertigal mouthparts*), sehingga kelangsungan hidupnya sepenuhnya bergantung pada cadangan lemak yang dikumpulkan selama fase larva (Cai *et al.*, 2022; Rampure dan Krishnakumar, 2023; Akwa *et al.*, 2025). Kondisi ini menunjukkan bahwa fase larva memiliki peran krusial dalam menentukan keberhasilan siklus hidup BSF secara keseluruhan.



Ilustrasi 1. Siklus Hidup BSFL

Salahuddin *et al.* (2024)

BSFL memiliki kemampuan biokonversi yang luar biasa melalui sinergi enzim protease, lipase, selulase, serta aktivitas mikroorganisme simbiosis yang mampu mendegradasi material lignoselulosa kompleks (Guillume *et al.* 2024; Sukmawati *et al.* 2023). Nutrien yang dihasilkan dari proses degradasi tersebut selanjutnya digunakan untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangan BSFL. Sebagian nutrien yang diserap akan digunakan dalam proses metabolisme,

sedangkan sisanya diakumulasikan sebagai cadangan energi di dalam jaringan tubuh BSFL (Ewald *et al.*, 2020).

Kemampuan tersebut menjadikan BSFL sebagai sumber nutrisi yang kaya Nyakeri *et al.* (2017) melaporkan bahwa BSFL merupakan sumber protein dan lemak yang cukup tinggi dengan kandungan protein berkisar antara 40-45%, lemak 30-35%, kalsium sekitar 4,8-5,11%, serta fosfor sekitar 0,6%. Komposisi nutrisi tersebut dapat berubah sesuai dengan kondisi pemeliharaan dan karakteristik substrat yang digunakan. Faktor lingkungan seperti kadar air media pada rentang 60-80% dan rasio karbon terhadap Nitrogen (C/N) diketahui berpengaruh terhadap akumulasi lipid BSFL (Yuan dan Hadura, 2022; Carpentier *et al.* 2024).

Pemanfaatan BSFL kini telah melampaui peran sebagai agen biokonversi menjadi sumber protein dan lemak yang bernilai tinggi. Biomassa BSFL dapat diolah menjadi tepung pengganti tepung ikan, sementara minyaknya dikonversi menjadi biodiesel (Čengić-Džomba *et al.* 2020; Srisuksai *et al.*, 2024). Tidak hanya itu, produk samping berupa frass (kotoran larva) bermanfaat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen, serta kandungan kitinnya berpotensi sebagai bahan biomedis seperti pembalut luka (Jiang *et al.* 2025; Rudianto *et al.* 2025).

Disamping pemanfaatan non-pangan tersebut, BSFL mulai dikembangkan sebagai pangan fungsional karena kandungan asam laurat antimikroba, dengan karakteristik tepungnya yang stabil untuk diaplikasikan pada produk roti dan biskuit (Van Heugten *et al.* 2022; Wrasianti *et al.* 2025). Inovasi ini membuka peluang besar bagi pemenuhan nutrisi masa depan melalui penyediaan sumber nutrisi alternatif yang tidak hanya bergizi, tetapi juga aman bagi kesehatan.

2.2. *Black Soldier Fly Larvae Oil* (BSFLO)

Black Soldier Fly Larvae Oil (BSFLO) merupakan minyak yang diperoleh dari fraksi lipid larva *Hermetia illucens* melalui proses ekstraksi baik secara mekanis maupun kimiawi (Carpentier *et al.*, 2024). Tingginya kandungan lipid dalam tubuh BSFL, menjadikannya bahan baku potensial untuk industri energi, pakan fungsional, hingga kosmetik (Okwuosa *et al.*, 2023). Selain aplikasinya yang luas, produksi minyak ini dinilai lebih ramah lingkungan karena memanfaatkan konsep sirkular ekonomi melalui biokonversi limbah. Luasnya cakupan aplikasi industri ini tidak terlepas dari sifat fisikokimia unik yang dimiliki oleh minyak tersebut.

Karakteristik utama BSFLO ditentukan oleh komposisi asam lemak penyusunnya yang didominasi oleh asam lemak rantai sedang (*Medium Chain Fatty Acid* atau MCFA). Sebagian besar fraksi lipidnya tersusun atas asam lemak jenuh (*saturated fatty acid* atau SFA), yang mencapai sekitar 67–80%, dengan komponen utama berupa asam laurat ($\pm 34\text{--}52\%$), asam palmitat ($\pm 12\text{--}22\%$), dan asam miristat ($\pm 12\text{--}20\%$) (Cattaneo *et al.* 2023; Sitepu *et al.* 2023; Keshaini *et al.* 2025). Selain itu, BSFLO juga mengandung sejumlah asam lemak tak jenuh terutama asam oleat sekitar 10–15% dan asam linoleat sekitar 2–10% (Cattaneo *et al.* 2023; Sitepu *et al.* 2023; Keshaini *et al.*, 2025). Komposisi asam lemak ini sangat bergantung pada substrat pakan yang dikonsumsi oleh BSFL.

Dominasi MCFA pada BSFLO memberikan karakteristik biologis dan fisikokimia yang khas. Sifat antimikroba yang kuat, kemampuan merusak membran patogen, serta sifat anti inflamasi menjadikan BSFLO unggul dibandingkan minyak ikan atau minyak nabati tak jenuh lainnya (Putri *et al.* 2026;

Richter *et al.* 2023). Stabilitas oksidatif yang tinggi juga membuatnya tidak mudah tengik saat disimpan (Haskaraca *et al.* 2025). Secara organoleptik, BSFLO memiliki aroma khas serangga dengan nuansa kacang (*nutty*), dan berwujud semi-padat pada suhu ruang karena memiliki titik leleh pada kisaran 20°C hingga 30°C (Chang *et al.* 2025; Borgevik *et al.* 2022).

Seluruh karakteristik dan profil asam lemak BSFLO sangat bergantung pada jenis substrat pakan yang dikonsumsi selama masa pertumbuhan larva. Franco *et al.* (2021) menyatakan bahwa BSFL memiliki plastisitas metabolik yang tinggi, di mana komposisi lipid dalam tubuhnya merupakan refleksi langsung dari profil nutrisi pada media tumbuhnya. Sebagai contoh, pakan tinggi karbohidrat memicu lipogenesis aktif yang mendorong akumulasi asam laurat, sedangkan perbedaan rasio makronutrien akan menentukan jalur pembentukan lemaknya (Hoc *et al.* 2020; Giannetto *et al.* 2020). Fleksibilitas dalam metabolisme ini secara langsung memengaruhi bagaimana BSFL merespons variasi kandungan lemak pada pakannya.

Akumulasi asam lemak tak jenuh rantai panjang (PUFA) hanya terjadi jika pakan mengandung sumber lemak tersebut, dan pergantian jenis pakan dapat menyebabkan perubahan profil asam lemak hingga 20% (Ewald *et al.* 2020; Hoc *et al.* 2020). Kemampuan biotransformasi ini memungkinkan pembuatan minyak *tailor-made*, misalnya peningkatan kandungan Omega-3 (EPA dan DHA) melalui penambahan limbah ikan atau mikroalga pada substrat pakannya (Putra *et al.* 2021; Ruschioni *et al.*, 2020). Dengan demikian, produsen dapat memanipulasi komposisi pakan secara presisi demi menghasilkan karakteristik minyak dengan nilai fungsional yang jauh lebih tinggi.

Keterkaitan antara variasi jenis pakan dengan profil fisikokimia BSFLO yang dihasilkan telah dicermati pada beberapa penelitian terbaru yang dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik BSFLO berdasarkan Perbedaan Substrat Pakan

Sumber (Tahun)	Substrat Pakan	Parameter/Temuan Utama	Karakteristik BSFLO
Fischer <i>et al.</i> (2021)	Campuran ampas kopi dan donat	Kandungan proksimat, produktivitas, dan asam lemak BSFL dan BSF Prepupa	Prepupa menghasilkan lemak paling tinggi, sedangkan BSFL menghasilkan protein terendah
Srisuksai <i>et al.</i> , (2024)	Endosperma kelapa + ampas tahu	Dominasi asam lemak jenuh (SFA) yang tinggi	Kandungan SFA mencapai 67–80% dengan asam laurat sebesar 34–52%, palmitat 12–22% dan miristat 12–20%
Chang <i>et al.</i> , (2025)	Campuran 60% roti dan 40% sayuran, kedelai serta buah-buahan	Komposisi lemak kasar, karakteristik fisik minyak berdasarkan perbedaan suhu pemanasan	Sebelum pemanasan: nilai peroksida 2,62 Meq O ₂ /Kg, dan FFA: 1,13%

2.3. Limbah Nabati sebagai Substrat Pakan

Penggunaan hasil samping agroindustri sebagai substrat pakan merupakan strategi efektif dalam produksi BSFLO karena ketersediaannya yang melimpah dan profil nutrisinya yang mendukung akumulasi lemak. Fischer dan Romano (2021) menyatakan bahwa substrat buah dan sayur menyediakan sumber karbohidrat terlarut untuk dikonversi menjadi cadangan energi dalam bentuk trigliserida. Melalui proses ini, BSFL mampu mendegradasi substrat organik hingga 70% dan menghasilkan biomassa yang kaya asam laurat (Parodi *et al.* 2018).

Dalam penerapannya, jenis dan kombinasi limbah yang digunakan memegang peranan penting terhadap kualitas lipid yang dihasilkan. Sebagai

contoh, keseimbangan nutrisi pada substrat agroindustri seperti ampas tahu terbukti meningkatkan efisiensi konversi pakan menjadi lipid karena strukturnya yang stabil (Putra *et al.* 2021). Untuk mengoptimalkan profil nutrisi tersebut, teknik pencampuran beberapa jenis substrat diperlukan guna menutupi defisiensi asam amino dan mineral tertentu yang tidak tersedia secara lengkap pada satu jenis bahan saja (Ewald *et al.* 2020).

2.3.1. Ampas Kelapa

Salah satu hasil samping pengolahan kelapa adalah ampas kelapa. Ampas kelapa sangat potensial sebagai substrat pakan BSFL karena kaya akan lemak dan asam laurat yang alami dapat langsung terakumulasi dalam jaringan tubuh BSFL. Srisuksai *et al.* (2024) menyatakan bahwa ampas kelapa mudah didegradasi dan dicerna, sehingga meningkatkan efisiensi konversi pakan. Penggunaannya bahkan terbukti meningkatkan akumulasi lemak BSFL secara signifikan dibandingkan pakan standar laboratorium (*Gainesville diet*) (Gatlin *et al.* 2024).

Karakteristik nutrisi ampas kelapa juga sangat berperan dalam menstabilkan profil asam lemak BSFL. Tingginya proporsi MCFA berkontribusi terhadap pembentukan BSFL dengan titik leleh yang relatif tinggi dan tekstur semi-padat yang stabil pada suhu ruang (Gatlin *et al.* 2024). Karakteristik tersebut menjadi salah satu alasan BSFL berpotensi digunakan sebagai bahan baku pangan maupun produk olahan berbasis lemak. Kandungan residu lemak ampas kelapa yang berkisar 10–15% dari berat kering menjadikannya substrat dengan kandungan energi tinggi sehingga mendukung biosintesis lemak dalam tubuh BSFL (Vieira *et al.* 2024).

Meskipun kaya akan fraksi lipid potensial, ampas kelapa murni masih memiliki keterbatasan dari segi kelengkapan makronutrien lainnya. Karena ampas kelapa memiliki kadar protein yang relatif rendah, sering kali dilakukan pencampuran dengan limbah lain untuk mencapai pertumbuhan larva yang optimal. Lu *et al.* (2021) menekankan bahwa penambahan nutrisi pada substrat sangat penting untuk menyeimbangkan rasio karbon dan nitrogen (C/N), sehingga proses biosintesis lipid dalam tubuh larva tidak terhambat oleh defisiensi protein selama masa prepupa.

Keunggulan lain dari ampas kelapa terletak pada kemampuannya untuk mempertahankan kelembapan yang ideal tanpa memicu kondisi anaerob. Struktur fisiknya yang porus memberikan aerasi yang baik dalam media tumbuh, sehingga mendukung respirasi BSFL dan optimalisasi sintesis lipid (Yakti *et al.* 2023). Namun, ampas kelapa yang disimpan terlalu lama sebelum diberikan kepada larva beresiko mengalami ketengikan hidrolitik. Oleh karena itu, penggunaan ampas kelapa segar lebih disarankan guna menghindari peningkatan kadar asam lemak bebas (FFA) pada BSFLO yang dihasilkan.

2.3.2. Kulit Kopi

Kulit kopi merupakan limbah lignoselulosa industri perkebunan yang potensial sebagai substrat pakan BSFL karena kandungan nutrisinya yang tinggi. Kulit kopi mengandung karbohidrat, protein, dan mineral sebagai sumber energi untuk pertumbuhan BSFL (Rebollo-Hernanz *et al.* 2023). Meskipun demikian, kulit kopi juga mengandung serat kasar dalam jumlah cukup tinggi dan senyawa antinutrisi seperti kafein dan tanin. Pada sebagian besar organisme, keberadaan

senyawa-senyawa sekunder ini umumnya dapat menghambat pemanfaatan nutrient didalam saluran pencernaan.

Namun, BSFL menunjukkan karakteristik fisiologis yang berbeda dan jauh lebih unggul dibandingkan dengan kebanyakan serangga lainnya. BSFL memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap substrat tersebut dan mampu menguraikan senyawa kompleks menjadi komponen yang lebih sederhana selama proses pencernaan (Khaekratoke *et al.* 2022). Kemampuan ini didukung oleh aktivitas enzim sitokrom P450 aktif yang berperan memecah molekul tannin dan polifenol kompleks (Zhang *et al.* (2025). Melalui mekanisme enzimatik ini, BSFL tetap optimal dalam mengakumulasi biomassa dan fraksi lipidnya meskipun tumbuh pada media yang toksik.

Senyawa bioaktif dalam kulit kopi memberikan pengaruh yang menguntungkan terhadap kualitas BSFLO. Kandungan fenolik pada kulit kopi memberikan efek proteksi terhadap oksidasi lemak dalam tubuh BSFL, sehingga BSFLO yang dihasilkan cenderung memiliki stabilitas penyimpanan yang lebih baik (Ruschioni *et al.* 2024). Selain itu, penggunaan kulit kopi sebagai substrat cenderung menghasilkan minyak dengan variasi profil PUFA yang lebih beragam dibandingkan substrat berbasis umbi-umbian (Truzzi *et al.* 2020).

Dari sisi fisik, struktur lignoselulosa kulit kopi yang padat dan memiliki penyerapan air yang lambat sehingga memerlukan waktu yang lebih lama di dalam media pakan agar tekstur substrat menjadi lebih lunak dan mudah dikonsumsi oleh BSFL (Hutabarat dan Dave 2024). Oleh karena itu, perlakuan awal seperti fermentasi atau pengecilan ukuran (*grinding*) diperlukan untuk meningkatkan efisiensi konsumsi dan penyerapan nutrisi (Sideris *et al.* 2021).

Penambahan air atau limbah basah juga diperlukan untuk mencapai kelembapan optimal. Xiang *et al.*, (2024) menekankan bahwa pentingnya kelembapan yang mendukung untuk aktivitas mikroba selulolitik BSFL dalam mengolah serat kasar.

2.3.3. Ampas Tahu

Produksi tahu menghasilkan limbah berupa ampas tahu yang memiliki kandungan protein cukup tinggi berkisar 20–25% serta lemak residu dengan profil asam lemak tak jenuh sebagai komponen dominannya. Srisuksai *et al.* 2024 menyatakan bahwa kandungan asam amino esensial pada ampas tahu dapat mempercepat siklus hidup BSFL dan meningkatkan bobot larva. Selain itu, kandungan lemak residu ampas tahu yang didominasi asam lemak tak jenuh dapat langsung diserap dan dikonversi oleh BSFL menjadi cadangan lemak tubuh tanpa harus melalui jalur sintesis karbohidrat yang panjang (Putra *et al.* 2021). Ketersediaan nutrisi makro yang mudah dicerna ini menjadikan ampas tahu sebagai komponen akselerator biomassa yang sangat efektif memicu laju akumulasi lipid awal pada BSFL.

Tingginya kandungan protein pada ampas tahu mempengaruhi komposisi minyak yang dihasilkan, sebagaimana dibuktikan oleh Putra *et al.* (2021) yang melaporkan bahwa peningkatan nitrogen total dalam sistem pencernaan BSFL memengaruhi jalur biosintesis asam lemak tak jenuh. Disisi lain, kadar air ampas tahu sangat tinggi menjadi faktor pembatas kondisi tersebut karena berpotensi menciptakan kondisi anaerobic pada media budidaya BSFL (Rojali *et al.* 2024). Oleh karena itu, ampas tahu sering kali dikombinasikan dengan bahan kering untuk menjaga porositas media dan mendukung produksi BSFL yang jernih.

2.3.4. Limbah Roti

Limbah roti yang digunakan sebagai substrat umumnya berasal dari produk bakery seperti roti tawar putih atau roti gandum yang tidak lagi layak konsumsi atau telah melewati masa simpan (*expired*). Limbah ini dapat berasal dari sisa produksi industri bakery, produk retail yang tidak terjual, maupun limbah rumah tangga. Secara kimiawi, limbah roti merupakan substrat sumber karbohidrat tinggi yang efektif untuk meningkatkan akumulasi lipid pada BSFL. Roti mengandung pati dan gula sederhana yang dapat langsung dimetabolisme menjadi cadangan lemak tubuh dalam waktu singkat, sehingga memicu proses *de novo lipogenesis* yang aktif (Carpentier *et al.*, 2024). Tingginya laju sintesis lemak ini secara langsung memengaruhi karakteristik fungsional dari BSFLO yang dihasilkan.

Kualitas dan kuantitas fraksi lipid tersebut juga dipengaruhi secara spesifik oleh bahan penyusun roti. Menurut Ewald *et al.*, (2020), karbohidrat yang berasal dari terung terigu dan aktivitas fermentasi ragi pada limbah roti dapat meningkatkan konsentrasi asam laurat, yang merupakan komponen utama dalam pembentukan asam lemak jenuh rantai sedang pada BSFLO. Kandungan lemak tambahan seperti margarin dalam roti juga dapat langsung diserap oleh BSFL untuk meningkatkan rendemen minyak total pada larva hingga 10-15% dibandingkan dengan substrat jagung (Shu *et al.* 2024).

Komponen ragi dalam limbah roti turut memberikan nilai tambah sebagai protein mikrobiologis sekaligus membantu fermentasi awal substrat untuk meningkatkan penyerapan nutrisi (Wong *et al.* 2020). Disisi lain, tingginya kandungan gula sederhana berperan mempercepat fase pergantian kulit larva karena glukosa dapat langsung dikonversi menjadi energi (Carpentier *et al.*,

2024). Namun, asupan gula yang tinggi ini juga memicu peningkatan panas metabolik di dalam media pakan. Salam *et al.* (2022) menjelaskan bahwa tanpa pengendalian suhu yang tepat, sisa gula pada substrat dapat mengalami fermentasi alkoholik atau degradasi termal yang berpotensi memengaruhi aroma serta komposisi kimia BSFLO yang dihasilkan.

2.4. Karakteristik Fisikokimia BSFLO

Karakteristik fisikokimia merupakan indikator penting yang menentukan mutu, stabilitas, dan potensi pemanfaatan suatu minyak, termasuk BSFLO. BSFLO memiliki sifat yang sedikit berbeda dibandingkan minyak nabati maupun minyak hewani pada umumnya. Oleh karena itu, penentuan karakteristik fisikokimia menjadi penting untuk mengetahui apakah minyak yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik serta stabil selama proses pengolahan. Standarisasi parameter fisikokimia diperlukan untuk memastikan bahwa minyak yang diproduksi bebas dari kontaminan dan aman untuk aplikasi pangan (Ibrahim *et al.* 2026). Pengujian ini juga berfungsi untuk meminimalkan risiko degradasi nutrisi selama produk disimpan (Anjani dan Khabiruddin, 2017).

Secara umum, karakteristik fisikokimia BSFLO dibagi mejadi dua, yaitu karakteristik fisik dan karakteristik kimia. Karakteristik fisik meliputi parameter yang dapat diamati atau diukur tanpa mengubah komposisi minyak, seperti warna, densitas, viskositas, dan titik asap (*smoke point*). Sifat fisik ini sangat memengaruhi aspek sensoris dan kemudahan penanganan minyak selama proses distribusi (Endo, 2018). Sementara itu, karakteristik kimia berkaitan dengan komposisi dan kestabilan minyak, yang dapat dilihat melalui parameter seperti

kadar air, kadar protein, kadar lemak kasar, kadar FFA, dan bilangan peroksida. Parameter kimia tersebut menjadi acuan utama dalam mengukur tingkat kerusakan minyak akibat proses oksidasi maupun hidrolisis selama proses penyimpanan nanti (Pietro *et al.* 2020).

Karakteristik fisikokimia BSFLO ini tidak bersifat tetap, tetapi dapat berubah tergantung beberapa faktor. Faktor tersebut antara lain metode ekstraksi, proses pemurnian, serta jenis substrat pakan yang dikonsumsi BSFL selama pertumbuhan (Mai *et al.* 2019; Ewald *et al.* 2020; Srisuksai *et al.* 2024). Perbedaan faktor-faktor tersebut dapat memengaruhi komposisi minyak yang dihasilkan dan menyebabkan perbedaan pada nilai parameter karakteristiknya. Oleh karena itu, untuk memahami karakteristik BSFLO secara lebih jelas, berikut dijelaskan parameter-parameter fisikokimia yang digunakan dalam penelitian ini.

2.4.1. Kadar Air

Salah satu parameter dalam menentukan mutu minyak adalah kadar air. Meskipun jumlahnya relatif kecil, keberadaan air dalam minyak dapat memengaruhi berbagai reaksi kimia yang berhubungan dengan penurunan mutu minyak. Air berperan dalam proses hidrolisis trigliserida sehingga menghasilkan asam lemak bebas dan gliserol yang dapat meningkatkan derajat keasaman dan mempercepat kerusakan minyak (Pietro *et al.* 2020). Peningkatan kadar keasaman ini menjadi indikasi awal bahwa kualitas fungsional minyak telah mengalami penurunan akibat degradasi komponen utamanya.

Dampak negatif dari tingginya kadar air tidak hanya berhenti pada proses hidrolisis, melainkan juga memicu rangkaian kerusakan oksidatif. Bao dan Marc

(2023) menjelaskan bahwa minyak dengan kadar air yang tinggi cenderung mengalami oksidasi lebih cepat, yang menyebabkan degradasi kualitas minyak, penurunan rasa, bau yang tak sedap, dan bahkan penurunan gizi. Selain itu, air berfungsi sebagai media pertumbuhan bagi mikroorganisme serta bertindak sebagai katalisator dalam aktivitas enzim yang secara alami terdapat dalam substrat pakan atau kontaminan (Bekker *et al.* 2021).

Kadar air dalam BSFLO sangat dipengaruhi oleh karakteristik substrat yang diberikan kepada BSFL. Bekker *et al.*, (2021) menyatakan bahwa substrat dengan kadar air tinggi dan struktur nutrisi yang mudah dicerna menyebabkan BSFL menyimpan air yang lebih besar dibandingkan dengan BSFL yang diberi pakan berserat tinggi. Kondisi ini berdampak langsung pada kualitas minyak yang dihasilkan, karena substrat pakan dengan kandungan asam lemak jenuh yang tinggi cenderung menarik kelembapan dari udara, yang kemudian ikut terserap ke dalam jaringan tubuh BSFL serta dapat menurunkan efisiensi ekstraksi dengan mengurangi jumlah minyak yang berhasil diperoleh (Haskaraca *et al.* 2025). Oleh karena itu, kadar air yang tinggi berpotensi memperburuk kualitas minyak dan memperpendek umur simpan BSFLO.

2.4.2. Kadar Protein

Protein pada BSFL pada dasarnya berfungsi sebagai komponen utama jaringan, biokatalisator, pengatur kerja tubuh, sekaligus sumber energi cadangan dalam kondisi defisit nutrisi (Chia *et al.*, 2020; Seyedalmoosavi *et al.*, 2022). Namun, dalam konteks BSFLO, keberadaan protein di dalam fase minyak merupakan bentuk residu mikro atau kontaminan dari jaringan tubuh BSFL yang

ikut terbawa selama proses ekstraksi. Selama tahap pemisahan mekanis maupun kimiawi, sebagian besar protein memang akan terpisah dari lemak dan membentuk residu padat berupa bungkil (*meal*) (Srisuksai *et al.* 2024). Meskipun demikian, fraksi protein berukuran mikro atau senyawa nitrogen non protein terkadang masih dapat lolos dan terdispersi didalam fase minyak.

Pengukuran kadar protein pada BSFLO menjadi parameter penting karena keberadaan residu protein di dalam minyak dapat memengaruhi stabilitas fisik dan kimianya. Protein dan asam amino bebas yang tertinggal di dalam minyak bersifat hidrofilik yang dapat memicu peningkatan kadar air (Yaping *et al.*, 2026). Selain mempercepat kerusakan kimia, kontaminasi residu protein ini juga berpotensi menyebabkan minyak menjadi keruh dan membentuk endapan selama penyimpanan (Gharby, 2022). Kehadiran komponen non lipid tersebut tentu akan menurunkan nilai sensoris serta mutu komersial dari produk BSFLO.

Metode Kjeldahl digunakan untuk mengukur kadar protein berdasarkan jumlah nitrogen total yang terkandung dalam sampel. Metode ini melalui tiga tahap, yaitu destruksi, distilasi, dan titrasi, di mana kandungan protein total sebagai komponen utama dalam biomassa BSFL yang mencerminkan efektivitas nitrogen dari substrat pakan yang dikonsumsi (Giyesi *et al.*, 2025). Nitrogen organik diubah menjadi amonium sulfat melalui destruksi menggunakan asam kuat, kemudian diubah kembali sebagai amonia pada tahap distilasi untuk dihitung jumlahnya melalui titrasi asam basa. Nilai nitrogen yang terdeteksi kemudian dikonversi menjadi persentase protein kasar dengan mengalikannya dengan faktor standar 6,25 sesuai dengan prosedur AOAC 981.10.

2.4.3. Kadar Lemak Kasar

Kadar lemak kasar pada BSFLO merupakan parameter utama yang merepresentasikan tingkat kemurnian (*purity*) dan total fraksi lipid murni yang berhasil dipisahkan dari jaringan tubuh BSFL. Secara biologis, konsentrasi lemak dalam tubuh BSFL bersifat sangat plastis karena dipengaruhi oleh densitas nutrisi serta proses lipogenesis dari substrat pakan (Manyapu dan Yo-Chia, 2026; Song *et al.* 2018). Variasi akumulasi lemak pada jaringan tubuh BSFL inilah yang nantinya akan menentukan seberapa besar potensi rendemen minyak yang diperoleh pada tiap tahap ekstraksi mekanis maupun kimiawi (Srisuksai *et al.* 2024).

Pengujian kadar lemak kasar ditujukan untuk mengevaluasi efektivitas proses pemurnian (*refining*) dan pemisahan dari komponen non lipid. Minyak kasar (*crude oil*) hasil perasan biasanya masih membawa residu pengotor berupa mikro protein, kelembapan air, atau partikel padat tak terlarut lainnya (Gharby, 2022). Melalui tahapan pemurnian seperti penggunaan *bleaching earth*, senyawa-senyawa pengotor tersebut diadsorpsi dan dipisahkan, sehingga kadar lemak kasar pada BSFLO diharapkan dapat meningkat optimal mendekati nilai total lipid murni (Xiong *et al.*, 2020). Rendahnya kadar lemak kasar pada minyak mengindikasikan masih tingginya komponen non lipid yang dapat menurunkan stabilitas dan mempercepat kerusakan minyak selama penyimpanan.

Penentuan kadar lemak kasar pada minyak dapat dilakukan melalui metode selisih (*by difference*), yang didasarkan pada asumsi bahwa total produk yang dihasilkan merepresentasikan 100% massa komponen. Nilai lemak kasar diperoleh melalui pengurangan total massa tersebut dengan komponen penyusun

lainnya, meliputi kadar air, kadar protein, hingga kadar abu. Menurut Jaya *et al.*, (2025) perhitungan kadar lemak total tersebut dapat diterapkan apabila komponen pengotor lain seperti kadar abu dan kadar karbohidrat berada dalam jumlah yang sangat terbatas sehingga sisa dari perhitungan tersebut dapat diasumsikan sebagai total lipid.

2.4.4. Free Fatty Acid (FFA)

Terbentuknya *Free fatty acid* (FFA) atau asam lemak bebas dalam minyak merupakan hasil dari reaksi hidrolisis trigliserida, yaitu pemutusan ikatan ester oleh air yang menghasilkan gliserol dan asam lemak bebas. Reaksi ini umumnya terjadi selama penanganan bahan, proses produksi, dan penyimpanan minyak (Pietro *et al.* 2020). Minyak dengan kadar FFA tinggi lebih rentan terhadap oksidasi lanjutan yang dapat menyebabkan ketengikan dan bau tidak sedap. Penelitian oleh Yaping *et al.*, (2026) mengungkapkan bahwa peningkatan nilai FFA tidak hanya menurunkan kualitas organoleptik minyak, tetapi juga dapat menurunkan titik asap (*smoke point*) sehingga membatasi potensinya dalam aplikasi pangan.

Akumulasi FFA dalam BSFLO sangat dipengaruhi oleh karakteristik substrat yang dikonsumsi serta perlakuan pascapanen. penelitian Srisuksai *et al.*, (2024) menunjukkan bahwa variasi komposisi kimia pakan BSFL akan memengaruhi kestabilan lipid yang tersimpan dalam jaringan tubuh. Substrat dengan kandungan energi tinggi namun kurang stabil secara kimiawi dapat menyebabkan BSFL mengakumulasi lemak dengan struktur yang lebih rentan terhadap hidrolisis (Queiroz *et al.* 2021). Selain itu, kelembapan yang terbawa

dari substrat ke dalam jaringan tubuh BSFL berpotensi menjadi reaktan dalam proses pembentukan FFA jika proses pengeringan pascapanen tidak dilakukan secara optimal (Haskaraca *et al.* 2025).

2.4.5. Bilangan Peroksida

Reaksi oksidasi primer yang terjadi antara asam lemak tidak jenuh dengan oksigen menghasilkan senyawa peroksida dan hidroperoksida yang tidak stabil, reaksi ini tercermin dalam nilai bilangan peroksida sebagai indikator kerusakan minyak. Tingginya nilai bilangan peroksida mengindikasikan ketengikan oksidatif yang dapat menurunkan kualitas organoleptik serta nilai gizi minyak (Khaled *et al.* 2024). Sejumlah faktor eksternal turut mempercepat proses oksidasi ini, diantaranya paparan cahaya, suhu tinggi selama ekstraksi, serta ion logam yang bertindak sebagai katalis dalam mempercepat pemutusan ikatan rangkap pada rantai asam lemak. Dampaknya meliputi bau tengik, perubahan warna, perubahan tekstur akibat polimerisasi, serta hilangnya asam lemak esensial dan potensi pembentukan radikal bebas yang dapat menyebabkan kerusakan sel tubuh jika dikonsumsi (Matthäus dan Musehold, 2019; Gharby *et al.* 2025).

Kerentanan BSFLO terhadap oksidasi sangat bergantung pada komposisi substrat yang dikonsumsi BSFL. Substrat yang telah mengalami degradasi kimiawi sebelum dikonsumsi BSFL atau yang memiliki ketidakseimbangan profil asam lemak dapat meninggalkan jejak oksidatif yang mempercepat kenaikan bilangan peroksida pada produk akhir (Hoc *et al.* 2020). Sebaliknya, substrat dengan kandungan senyawa bioaktif pelindung alami, seperti polifenol atau antioksidan, dapat membantu menekan kerusakan ikatan rangkap pada asam

lemak sehingga menjaga nilai bilangan peroksida tetap rendah (Putri *et al.* 2026). Selain itu, interaksi antara komponen substrat dan metabolisme BSFL juga turut menentukan tingkat stabilitas oksidatif minyak yang dihasilkan.

Sebagai acuan standarisasi mutu, karakteristik bilangan peroksida pada minyak secara umum dievaluasi berdasarkan SNI Minyak Goreng (SNI 3741:2015). Berdasarkan regulasi tersebut, ambang batas maksimal kadar bilangan peroksida ditetapkan secara ketat guna menjamin keamanan konsumsi dan stabilitas produk selama distribusi. Kualitas minyak yang ideal direkomendasikan memiliki nilai bilangan peroksida di bawah 3 mEq O₂/Kg saat tahap pascaproduksi, tidak melampaui 5 mEq O₂/Kg setelah kemasan dibuka, serta maksimal 10 mEq O₂/Kg pada tahap penggunaan akhir.

2.4.6. *Smoke Point*

Smoke point atau titik asap merupakan titik suhu di mana minyak atau lemak mulai terurai secara termal menghasilkan asap kebiruan yang terlihat secara konstan dengan kasat mata, yang berasal dari penguapan senyawa volatile dan pembentukan akrolein hasil dehidrasi gliserol (Huang *et al.* 2023). Penelitian oleh Tsai *et al.*, (2023) dan Li *et al.* (2020) menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi komponen non gliserida seperti FFA, residu air, dan produk oksidasi dalam minyak, maka titik asap akan cenderung menurun. Hal ini dikarenakan FFA memiliki tekanan uap yang lebih tinggi dibandingkan molekul trigliserida utuh, sehingga lebih mudah menguap dan terurai pada suhu yang lebih rendah (Changwatchai *et al.* 2022).

BAB III

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan selama sembilan bulan, yaitu mulai 1 Juni 2025 hingga 16 Februari 2026. Kegiatan penelitian dilakukan di Peternakan Maggot Jangli yang berlokasi di Jl. Burangrang Raya Jangli, serta di Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Ternak, dan Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang.

3.1. Materi Penelitian

Black Soldier Fly Larvae (BSFL) yang dibudidayakan di Peternakan Maggot Jangli, Tembalang, Semarang (Indonesia). Bahan pakan BSFL meliputi dedak dari pedagang lokal di Jangli (Indonesia), nasi dari sampah rumah tangga, limbah roti dari pedagang roti lokal “Lawu Roti” Jl. Meteseh (Indonesia), ampas tahu dari sentra produksi tahu “Tahu Eco” Jl. Tandang Raya (Indonesia), ampas kelapa dari pasar Rasamala Jl. Rasamala Raya (Indonesia), serta kulit kopi yang diperoleh dari Pondok Kopi Umbul Sidomukti Jl. Jimbaran Bandungan (Indonesia).

Untuk keperluan analisis kimia, digunakan sejumlah bahan kimia berderajat analisis (*analytical reagent*), meliputi kloroform (Merck), asam asetat glasial (Merck), kalium iodida (Merck), akuades (Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro), larutan *starch* (amilum) 1% (Merck), $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 0,005 N (Merck), etanol 95% (Merck), indikator fenolftalein (PP) (Merck), NaOH 0,05 N (Merck), selenium (Merck), H_2SO_4 pekat (Merck), *bleaching earth* merk TDS Terram 1000

dari PT. Dwi Karya Bentonit (Indonesia), NaOH 45% (Merck), H₃BO₃ 4% (Merck), indikator MR MB (Merck), serta HCl 0,1 N (Merck).

3.2. Metode

Tahapan penelitian mencakup penyusunan rancangan percobaan, prosedur penelitian, pengujian parameter, serta analisis data hasil penelitian. Tahapan penelitian dijelaskan sebagai berikut:

3.2.1. Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk mengevaluasi pengaruh perbedaan komposisi pakan berbasis limbah nabati terhadap karakteristik fisikokimia *Black Soldier Larvae Fly Oil* (BSFLO). Perlakuan dalam penelitian ini terdiri atas empat variasi komposisi pakan, yaitu kelompok kontrol (100% limbah roti) serta tiga variasi perlakuan yang menggunakan campuran 15% limbah roti dan 15% ampas tahu sebagai basis pakan, dengan perbedaan proposi pada ampas kelapa dan kulit kopi (KLKP). Masing-masing kelompok perlakuan dilakukan dalam tiga ulangan sehingga total pengamatan pada setiap perlakuan berjumlah tiga unit percobaan (n=3). Komposisi pakan pada setiap perlakuan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Perlakuan Pakan BSFL

Bahan Pakan	Perlakuan (%)			
	Kontrol	KLKP 50/20	KLKP 45/25	KLKP 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

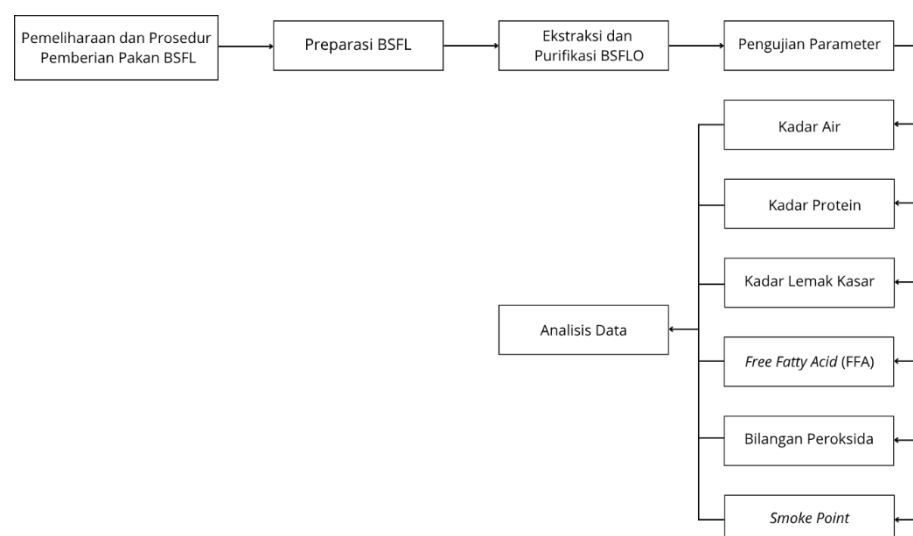
Keterangan:

KLKP : Ampas Kelapa dan Kulit Kopi

Sebelum pemberian perlakuan, larva dipelihara dalam kondisi yang seragam selama dua minggu pertama sebagai tahap standarisasi. Pada minggu pertama, telur 2 g ditetaskan dalam media dedak lembap, sedangkan pada minggu kedua larva diberi pakan campuran limbah roti tawar dan nasi dengan perbandingan 1:1 (b/b). Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan kondisi fisiologis larva yang homogen sebelum memasuki fase perlakuan. Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi karakteristik fisikokimia BSFLO, yaitu kadar air, kadar protein, kadar lemak kasar, kadar *free fatty acid* (FFA), bilangan peroksida, serta *smoke point*.

3.2.2. Prosedur Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui empat tahapan utama, yaitu pemeliharaan BSFL dan pemberian perlakuan pakan, preparasi sampel BSFL, ekstraksi *Crude Oil* (CO), serta purifikasi CO. Minyak hasil purifikasi kemudian dianalisis melalui serangkaian pengujian parameter fisik dan kimia untuk mengevaluasi karakteristik BSFLO yang dihasilkan pada masing-masing perlakuan.



Ilustrasi 2. Diagram Alir Prosedur Penelitian

a. Pemeliharaan dan Prosedur Pemberian Pakan *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL)

Pada minggu pertama, 2 g telur BSF ditempatkan dalam wadah dengan diameter 27 cm yang telah diisi dedak basah sebagai media penetasan. Kelembapan media dipertahankan melalui penambahan air secara berkala dengan rasio dedak dan air sebesar 1:1. Menurut Gold *et al.*, (2018), kelembapan substrat merupakan faktor penting dalam keberhasilan penetasan telur dan perkembangan awal larva BSF.

Memasuki minggu kedua, BSFL yang telah menetas dipindahkan ke kontainer berukuran 60 x 40 x 10 cm untuk menyediakan ruang pemeliharaan yang lebih luas dan mengurangi kepadatan populasi. Pada tahap ini, pakan yang diberikan berupa campuran roti tawar dan nasi dengan perbandingan 1:1 (b/b). Untuk menjaga kadar air substrat, ditambahkan air sebanyak $\pm 50\%$ dari total bobot pakan. Pakan diberikan secara berkala setiap dua hingga tiga hari sekali.

Memasuki minggu ketiga, BSFL mulai diberikan pakan sesuai formulasi perlakuan yang telah ditetapkan. Masing-masing kelompok memperoleh pakan sebanyak 1 kg per hari yang diberikan secara bertahap. Pengamatan pertumbuhan dilakukan setiap hari menggunakan metode *sampling*, yaitu dengan mengambil masing-masing 10 BSFL berukuran kecil, sedang, dan besar dengan total 60 ekor untuk ditimbang 3 kali ulangan. Pengukuran bobot BSFL dilakukan secara berkala untuk menentukan waktu panen optimal, yaitu ketika laju pertumbuhan mulai berhenti atau menunjukkan kecenderungan menurun.

b. Preparasi Sampel *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL)

Pemanenan BSFL mengacu pada metode Alagappan *et al.* (2026) yang dimodifikasi. BSFL dipanen ketika pertumbuhan bobot menunjukkan kondisi stagnan atau penurunan, yang menunjukkan bahwa BSFL telah mendekati fase prepupa. Kemudian dilanjutkan dengan proses preparasi BSFL menggunakan metode Hurtado-Ribeira *et al.* (2023) yang telah dimodifikasi. BSFL yang telah dipanen kemudian dibersihkan menggunakan air mengalir hingga bebas dari kotoran dan sisa pakan. Selanjutnya, BSFL dimatikan menggunakan metode *blanching* dengan merendam larva dalam air panas 90°C selama ± 30 detik. Tahap berikutnya adalah pengeringan BSFL menggunakan *cabinet dryer* (Maksindo, Indonesia) pada suhu 65°C selama 24 jam. Untuk memperoleh tingkat pengeringan yang seragam, posisi BSFL dibalik setiap empat jam selama proses berlangsung.

c. Ekstraksi *Crude Oil* (CO)

Ekstraksi *black soldier fly larvae oil* (BSFLO) mengacu pada metode Kieronczyk *et al.* (2022). BSFL yang telah dikeringkan selanjutnya diproses menggunakan *screw press extractor* (Daerok-B03, China) pada suhu 50°C. Penggunaan suhu yang relatif rendah bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan komponen lipid akibat paparan panas selama proses ekstraksi. Produk yang dihasilkan berupa minyak kasar atau *crude oil* (BSFLO), sedangkan residu padatan yang tersisa diperoleh dalam bentuk *Black Soldier Fly Larvae Meal* (BSFLM).

d. Purifikasi *Black Soldier Fly Larvae Oil* (BSFLO)

Minyak kasar hasil ekstraksi terlebih dahulu dipisahkan dari partikel pengotor melalui proses sentrifugasi menggunakan *refrigerated centrifuge* (OHAUS Frontier 5718R, Jerman) pada kecepatan 6000 rpm selama 15 menit. Tahap pemurnian selanjutnya dilakukan dengan metode *bleaching* yang mengacu pada metode Petrović *et al.* (2023), Xiong *et al.* (2020), dan Veronika *et al.* (2023) menggunakan adsorben *bleaching earth*. Kebutuhan adsorben ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{Bleaching earth} = 7,5\% \times \text{berat crude oil}$$

Proses *bleaching* dilakukan pada suhu 90°C menggunakan *hot plate* (IKA C-MAG HS 7, Jerman) disertai pengadukan dengan *overhead stirrer* (IKA RW 20 Digital, Jerman) pada kecepatan 750 rpm selama 40 menit. Setelah perlakuan *bleaching* selesai, BSFLO kembali disentrifugasi pada kecepatan 6000 rpm selama 15 menit untuk memisahkan adsorben dari fase minyak. BSFLO yang telah dimurnikan kemudian ditempatkan dalam botol amber dan disimpan pada suhu 4°C untuk meminimalisir reaksi oksidasi akibat paparan cahaya sekaligus mempertahankan stabilitas mutu minyak sebelum dilakukan pengujian lebih lanjut.

3.2.3. Pengujian Parameter

Karakteristik fisikokimia BSFLO dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh perbedaan komposisi limbah pakan terhadap mutu minyak yang dihasilkan. Parameter yang diamati meliputi kadar air, kadar protein, kadar lemak kasar, kadar FFA, bilangan peroksida, dan *smoke point*.

a. Metode Pengujian Kadar Air

Parameter kadar air diuji berdasarkan standar ISO 662:2016 menggunakan metode pengeringan oven hingga bobot sampel mencapai kondisi konstan. Sebelum digunakan, cawan porselen disterilisasi terlebih dahulu dalam oven kadar air (UN30 Memmert Drying Oven, Jerman) pada suhu 105°C selama satu jam. Cawan kemudian didinginkan dalam desikator (Duran, Indonesia) selama 15 menit sebelum ditimbang. Sampel dengan massa 2 g ditempatkan ke dalam cawan yang telah diketahui bobotnya, kemudian dikeringkan pada suhu 103 °C selama empat jam. Setelah proses pemanasan selesai, sampel didinginkan di dalam desikator dan ditimbang kembali. Tahap pengeringan dan penimbangan dilakukan berulang kali hingga diperoleh berat konstan. Presentase kadar air diperoleh berdasarkan perbandingan penyusutan massa sampel selama proses pengeringan di dalam oven.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{\text{Berat B} - (\text{Berat C} - \text{Berat A})}{\text{Berat B}} \times 100\%$$

Berat A : berat cawan porselin (g)

Berat B : berat sampel awal (g)

Berat C : berat cawan dan sampel setelah pengeringan akhir (g)

b. Metode Pengujian Kadar Protein

Kandungan protein ditentukan menggunakan metode kjeldahl sesuai AOAC 981.10) yang terdiri atas tahap destruksi, distilasi, dan titrasi. Tahap destruksi melibatkan 0,5 g sampel yang dipanaskan pada *hot plate* (IKA C-MAG HS 7, Jerman) bersama 0,5 g selenium dan 10 mL H₂SO₄ pekat hingga menghasilkan larutan hijau jernih. Setelah didinginkan, larutan tersebut didistilasi dengan

penambahan 100 mL akuades dan 40 mL NaOH 45%. Destilat yang dihasilkan ditampung dalam erlenmeyer hingga mencapai volume sekitar 40 mL. Selanjutnya ditambahkan 5 mL asam borat 4% dan indikator MR MB 2 tetes. Larutan hasil distilasi kemudian dititrasi menggunakan HCl 0,1 N hingga terjadi perubahan warna menjadi biru keunguan. Kandungan nitrogen total yang diperoleh selanjutnya di konversi menjadi kadar protein menggunakan faktor konversi 6,25.

$$\text{Nitrogen Total (\%)} = \frac{(\text{Titran sampel-blanko}) \times N \text{ HCL} \times 14,008}{\text{Berat sampel} \times 1000} \times 100\%$$

$$\text{Kadar Protein (\%)} = \text{Nilai nitrogen total} \times 6,25$$

c. Metode Pengujian Kadar Lemak Kasar

Kadar lemak kasar dihitung menggunakan pendekatan *total fat by difference*. Metode ini didasarkan pada asumsi minyak dengan kadar air dan pengotor (protein) yang rendah memiliki tingkat kemurnian lemak yang lebih tinggi (Jaya dan Khairiah, 2025). Karena sampel yang digunakan berupa minyak murni, kandungan abu (mineral) dan karbohidrat diasumsikan sangat rendah (*negligible*) sehingga pengaruhnya terhadap perhitungan dapat diabaikan. Perhitungan kadar lemak kasar dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kadar Lemak Kasar (\%)} = 100\% - (\% \text{Kadar Protein} + \% \text{Kadar Air})$$

d. Metode Pengujian Kadar FFA

Analisis kadar FFA dilakukan dengan mengadaptasi metode AOCS Ca 5a-40. Sebanyak 1 g minyak dilarutkan ke dalam etanol 95% hangat bersuhu sekitar 40°C dan dihomogenkan hingga tercampur merata. Setelah itu ditambahkan 0,15

mL indikator fenolftalei (PP). Larutan kemudian dititrasi menggunakan NaOH 0,05 N hingga mencapai titik akhir yang ditandai dengan perubahan warna menjadi merah muda persisten. Nilai FFA ditentukan berdasarkan jumlah larutan basa yang digunakan untuk menetralkan asam lemak bebas yang terdapat dalam sampel. Hasil perhitungan dinyatakan sebagai persentase asam laurat karena merupakan asam lemak dominan pada BSFLO.

$$\text{FFA (\%)} = \frac{V \times N \times 20}{m}$$

V : volume titran NaOH yang digunakan (mL)

N : Normalitas larutan NaOH

m : Massa sampel (g)

e. Metode Pengujian Bilangan Peroksida

Analisis bilangan peroksida dilakukan berdasarkan prosedur *Malaysian Palm Oil Board (MPOB) test method P2.3:2004* dengan prinsip titrasi iodometri. Pengujian diawali dengan melarutkan sampel 0,5 g ke dalam campuran asam asetat glasial dan kloroform (3:2). Selanjutnya ditambahkan 0,1 mL larutan KI jenuh dan campuran dibiarkan selama satu menit. Setelah reaksi berlangsung, campuran diencerkan menggunakan 3 mL akuades dan diberi 1 mL indikator amilum 1% hingga terbentuk warna biru. Larutan kemudian dititrasi menggunakan natrium tiosulfat 0,005 N hingga warna biru menghilang dan larutan menjadi jernih. Nilai bilangan peroksida dihitung berdasarkan jumlah iodine yang terbentuk selama reaksi, yang berbanding lurus dengan konsentrasi peroksida aktif di dalam sampel minyak.

$$\text{Bilangan Peroksida (MeqO}_2\text{/Kg)} = \frac{(V2 - V1) \times N \times 1000}{M}$$

V2 : volume Na₂S₂O₃ yang digunakan untuk sampel (mL)

V1 : volume Na₂S₂O₃ yang digunakan untuk blanko (mL)

N : Normalitas Na₂S₂O₃

M : Massa sampel

f. Metode Pengujian *Smoke Point*

Penentuan *smoke point* sampel BSFLO mengadaptasi prosedur Mahesar *et al.* (2017) dengan beberapa modifikasi. Sebanyak 10 g sampel ditempatkan diatas *hotplate* (IKA C-MAG HS 7, Jerman) dan dipanaskan secara bertahap dengan kenaikan suhu 5°C setiap menit, dimulai dari kondisi suhu ruang yakni 25°C. Titik asap ditentukan melalui pengamatan visual terhadap kemunculan asap tipis yang berkelanjutan diatas permukaan sampel. Pengukuran suhu dilakukan menggunakan termometer digital (Xueliee GM 320, China) untuk memastikan akurasi data suhu saat asap tercapai.

3.2.4. Analisis Data

Seluruh data hasil pengujian diolah menggunakan *Microsoft Excel*. Interpretasi data dilakukan secara deskriptif kuantitatif untuk menggambarkan karakteristik minyak yang dihasilkan pada setiap perlakuan. Hasil pengolahan data kemudian disajikan dalam bentuk diagram *box plot*.