

**KUALITAS RENDEMEN, KOLESTEROL, DAN LOGAM BERAT *BLACK SOLDIER FLY LARVAE OIL*, SERTA PERTUMBUHAN BERBASIS
PAKAN AMPAS KELAPA DAN KULIT KOPI**

SKRIPSI

Oleh

AMIIRA AZIZAH



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

KUALITAS RENDEMEN, KOLESTEROL, DAN LOGAM BERAT *BLACK
SOLDIER FLY LARVAE OIL*, SERTA PERTUMBUHAN BERBASIS
PAKAN AMPAS KELAPA DAN KULIT KOPI

Oleh

AMIIRA AZIZAH
NIM : 23020122140201

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 : Amiira Azizah
NIM : 23020122140201
Program Studi : S-1 Teknologi Pangan

dengan ini menyatakan sebagai berikut:

1. Skripsi yang berjudul: **Kualitas Rendemen, Kolesterol, dan Logam Berat *Black Soldier Fly Larvae Oil*, Serta Pertumbuhan Berbasis 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, (Juni 2026)

Penulis,



(Amiira Azizah)

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 : KUALITAS RENDEMEN, KOLESTEROL,
DAN LOGAM BERAT *BLACK SOLDIER FLY*
LARVAE OIL, SERTA PERTUMBUHAN
BERBASIS PAKAN AMPAS KELAPA DAN
KULIT KOPI

Nama Mahasiswa : AMIIRA AZIZAH

Nomor Induk Mahasiswa : 23020122140201

Program Studi/Departemen : S-1 TEKNOLOGI PANGAN

Fakultas : PETERNAKAN DAN PERTANIAN

Telah disidangkan di hadapan Tim Penguji
dan dinyatakan lulus pada tanggal **29 JUN 2026**

Pembimbing Utama

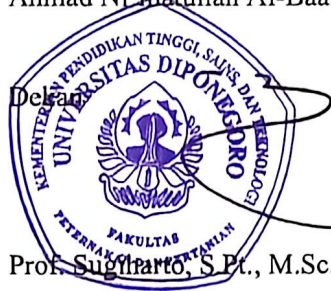


Yoga Pratama, S.TP., M.Sc., Ph.D.

Ketua Program Studi

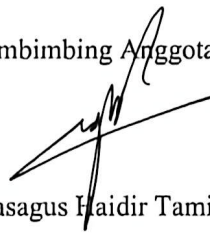


Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D.



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

Pembimbing Anggota



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

Ketua Panitia Ujian Akhir Program



Swastika Dewi, S.TP., M.Sc.

Ketua Departemen



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

RINGKASAN

AMIIRA AZIZAH. 23020122140201. 2026. Kualitas Rendemen, Kolesterol, dan Logam Berat *Black Soldier Fly Larvae Oil*, serta Pertumbuhan Berbasis Pakan Ampas Kelapa dan Kulit Kopi (Pembimbing: **YOGA PRATAMA** dan **MASAGUS HAIDIR TAMIMI**).

Black Soldier Fly Larvae (BSFL; *Hermetia illucens*) merupakan spesies serangga yang menjanjikan karena kemampuannya mengubah bahan baku bernilai rendah menjadi produk yang bernilai tinggi, salah satunya adalah minyak. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kualitas rendemen, kolesterol, dan logam berat BSFLO (*Black Soldier Fly Larvae Oil*), serta pertumbuhannya berdasarkan pakan berbasis ampas kelapa dan kulit kopi. Ampas kelapa dan kulit kopi dipilih sebagai substrat pakan larva karena produksinya yang terus meningkat, sedangkan pemanfaatan limbahnya belum maksimal.

Penelitian ini berlangsung dari Juni 2025 – Februari 2026 di “Ben Resik” Farm, Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan serta Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro. Rancangan penelitian yang digunakan yaitu 4 perlakuan dan pengulangan sebanyak 3 kali. Parameter yang diamati meliputi komposisi nutrisi pakan, profil berat, rendemen, kadar kolesterol, dan kandungan logam berat. Analisis dilakukan menggunakan berbagai instrumen seperti GC-FID, ICP-OES, dan metode standar lainnya yang telah ditetapkan. Seluruh parameter dianalisis dengan metode deskriptif kuantitatif untuk menginterpretasikan hasil yang diperoleh.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan KLKP 40/30 menghasilkan nilai kolesterol BSFLO yang paling rendah meskipun tidak menghasilkan profil berat dan rendemen *overall* yang tertinggi. Kadar kolesterol yang lebih rendah diharapkan dapat meningkatkan nilai kesehatan produk, terutama dalam pengembangan bahan pangan bagi konsumen yang memperhatikan risiko penyakit kardiovaskular. Selain itu, logam berat pada BSFLO pada seluruh perlakuan juga tidak terdeteksi dalam batas minimal deteksi alat. Hal ini menunjukkan bahwa BSFLO memiliki kualitas keamanan produk yang baik berdasarkan cemaran logam berat.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Kualitas Rendemen, Kolesterol, dan Logam Berat *Black Soldier Fly Larvae Oil*, Serta Pertumbuhan Berbasis Pakan Ampas Kelapa dan Kulit Kopi” dengan baik. Adapun tujuan penyusunan skripsi yaitu sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi Teknologi Pangan, Departemen Pertanian, Fakultas dan Pertanian, Universitas Diponegoro, Semarang.

Penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi ini tentu tidak terlepas dari doa, dukungan, dan motivasi dari berbagai pihak yang terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Yoga Pratama, S.TP., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah berkenan memberikan kesempatan yang luar biasa kepada Penulis sehingga menjadikan perjalanan skripsi ini menjadi ruang untuk terus bertumbuh. Terima kasih atas segala waktu dan kesabaran dalam membimbing, memberikan masukan dan apresiasi, serta berbagi cerita yang senantiasa menjadi motivasi bagi Penulis dalam menjalankan penelitian sejak awal penelitian hingga sidang ujian akhir;
2. Bapak Masagus Haidir Tamimi, S.T.P., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Anggota dan Ibu Ulil Afidah, S.Pt., M.Sc., selaku dosen yang juga senantiasa meluangkan waktu, masukan dan apresiasi selama Penulis melaksanakan penelitian hingga penulisan skripsi ;
3. Bapak 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;

4. Bapak Ahmad Ni'matullah Al-Baarri, S.Pt., M.P., Ph.D., selaku Ketua Departemen Pertanian Fakultas Peternakan dan Pertanian, serta selaku Ketua Program Studi S-1 Teknologi Pangan Fakultas Peternakan dan Pertanian, Universitas Diponegoro, yang telah memberikan pengarahan selama menempuh pendidikan hingga melakukan sidang akhir;
5. Bapak Dr. Rafli Zulfa Kamil S.T.P., selaku Dosen Wali yang telah memberikan pengarahan, kesempatan, dan bimbingan dari awal perkuliahan hingga sidang ujian akhir;
6. Dosen penguji ujian akhir Bapak Setya Budi Muhammad Abduh, S.Pt., M.Sc., Ph.D., dan Bapak Fariz Nurmita Aziz, S.T.P., M.Sc. serta dosen panitia ujian akhir Bapak Hega Bintang Pratama Putra, S.T.P., M.Sc. yang telah memberikan pertanyaan, masukan dan apresiasi dalam skripsi ini agar menjadi lebih baik;
7. 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;
8. Semua pimpinan dan staf Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan serta Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian yang telah memberikan bantuan dan kesempatan dalam melaksanakan penelitian;
9. Saudari Aulia Azzahra dan Amara Bilqisth Dardiri selaku rekan penelitian yang senantiasa memberikan kerja sama yang luar biasa dalam setiap proses perjalanan skripsi ini. Meskipun berkali-kali kita merasakan lelah, jenuh, sedih bersama, tetapi berkali-kali juga kita merasakan senang, bahagia, tawa, sampai akhirnya rasa bangga itu hadir. Terima kasih atas perjalanan yang sangat berkesan dan penuh perjuangan ini;
10. Teman-teman dekat penulis Ayesha, Amelia, Sonia, Amara, Erika, Dhiyaa, dan Aqilah selaku rekan seperjuangan dari awal sebagai mahasiswa baru, mahasiswa akhir, hingga gelar sarjana diperoleh. Terima kasih telah menjadi teman berbagi waktu, cerita, tawa, dan kebersamaan yang hangat bagi Penulis selama empat tahun ini;

11. Teman-teman baik penulis Lathiifa, Misyka, Dina, Laura, dan Koi yang telah menjadi teman baik Penulis selama di perkuliahan. Teman-teman dari BEM FPP 2023 (Rara, Farhan, Ocha, Evanda, Kak Fira, Kak Manda, Kak Fairuz, Kak Wulan), yang telah menjadi keluarga organisasi pertama bagi Penulis di perkuliahan yang senantiasa memberikan rasa nyaman, seru, dan penuh tawa dalam setiap pertemuan kita;
12. Teman-teman dari BEM UNDIP 2024 (Sharla, Isti, Kak Wulan, Kak Qiha, Kak Vava, Kak Alfian) yang telah menjadi keluarga organisasi kedua bagi Penulis yang senantiasa memberikan wadah untuk belajar hal baru dengan rasa kekeluargaan yang tinggi, profesionalisme, serta saling mendukung satu sama lain;
13. Teman-teman program studi Teknologi Pangan angkatan 2022 yang telah memberikan dukungan selama proses keberlangsungan skripsi;
14. Panutan dan kebangganku, Ayah dan Alm Mama tercinta, yang selalu menjadi rumah, tempat pulang, dan sumber kekuatan bagi Penulis. Terima kasih atas kasih sayang yang begitu luas, doa, serta segala pengorbanan yang telah diberikan. Untuk Ayah, terima kasih atas setiap langkah dan perjuangan yang selalu diberikan dengan tulus. Berkat kerja keras, dukungan, dan doa Ayah, Penulis dapat sampai pada tahap ini. Untuk Mama, sosok Ibu yang tidak lagi berada di sisi Penulis, cinta dan doa Mama tetap terasa dalam setiap langkah yang Penulis jalani. Terima kasih atas cinta yang begitu besar, pelukan dan pengorbanan yang tidak akan pernah dapat terbalaskan. *May Allah grant you the best place in Jannah, Aamiin;*
15. Kakak dan Adik-adik tersayang, terima kasih sudah hadir sebagai sosok personil keluarga yang menghangatkan dan menyenangkan. Terima kasih sudah menjadi pendengar dan teman diskusi yang baik, saling mendukung, dan saling menguatkan satu sama lain;
16. dan terakhir, untuk diri Penulis sendiri. Terima kasih karena telah bertahan dan berjuang untuk menyelesaikan tugas akhir sarjana pertamamu ini dengan sangat baik. Meski tidak selalu mudah, rangkaian proses, pelajaran, dan perjuangan inilah yang menjadikanmu sampai hari ini. Mungkin ini menjadi

perjalanan yang tidak sempurna karena kepergian Mama. Tidak ada kehilangan yang mudah, tetapi kamu mampu melewatinya dengan baik dan kuat. Teruslah melangkah lebih kuat, lebih dewasa, dan penuhilah dirimu dengan rasa syukur, karena ini bukanlah akhir, melainkan awal baru untuk menjalankan fase kehidupan berikutnya.

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, Juni 2026

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR ILUSTRASI	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. <i>Black Soldier Fly Larvae</i> (BSFL)	5
2.2. Komposisi Nutrisi Pakan BSFL	7
2.3. Bahan Pakan.....	8
2.4. Profil Berat	10
2.5. Rendemen.....	11
2.6. Uji Kadar Kolesterol	12
2.7. Uji Kandungan Logam Berat	13
BAB III. MATERI DAN METODE	15
3.1. Materi Penelitian	15
3.2. Metode Penelitian.....	16
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1. Komposisi Nutrisi Pakan.....	28
4.2. Profil Berat	33
4.3. Rendemen.....	37
4.4. Kadar Kolesterol	41
4.5. Logam Berat.....	42
BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	44

5.1. Simpulan.....	44
5.2. Saran.....	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN.....	55
RIWAYAT HIDUP.....	81

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Desain Percobaan Kombinasi Perlakuan dan Ulangan	17
2. Komposisi Nutrisi Pakan pada Substrat Pakan (bb)	28
3. Komposisi Nutrisi Pakan pada Substrat Pakan (bk)	29
4. Perhitungan Komposisi Nutrisi Pakan Formulasi (bb)	30
5. Perhitungan Komposisi Nutrisi Pakan Formulasi (bk)	31
6. Rata-Rata Nilai Regresi Linear Profil Berat BSFL	34
7. Hasil Pengujian Kadar Kolesterol	41
8. Hasil Pengujian Logam Berat	42

DAFTAR ILUSTRASI

Nomor	Halaman
1. Siklus Hidup BSFL	6
2. Diagram Alir Prosedur Penelitian	17
3. Diagram Alir Pemeliharaan BSFL	18
4. Diagram Alir Ekstraksi BSFLO	19
5. Ilustrasi Profil Berat BSFL.....	33
6. Grafik Biomassa BSFL	36
7. Grafik Rendemen Pengeringan	37
8. Grafik Rendemen Ekstraksi	38
9. Grafik Rendemen <i>Bleaching</i>	39
10. Grafik Rendemen <i>Overall</i>	40

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
1. Perhitungan Komposisi Nutrisi Pakan (bk).....	55
2. Perhitungan Komposisi Nutrisi Substrat Pakan (bb)	59
3. Perhitungan Komposisi Nutrisi Pakan (bb + treatment air)	61
4. Perhitungan Komposisi Nutrisi Pakan Formulasi (bk)	63
5. Perhitungan Profil Berat.....	65
6. Perhitungan Rendemen	67
7. Pengujian Kolesterol	70
8. Pengujian Logam Berat.....	74
9. Dokumentasi Penelitian	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Black Soldier Fly (BSF, *H. illucens*) merupakan spesies yang menjanjikan dalam mengonversi limbah organik menjadi produk yang bernilai. Hal ini mendukung konsep ekonomi sirkular, di mana limbah dari satu sistem dimanfaatkan dalam proses lain untuk mengurangi pembuangan dan menghasilkan nilai tambah (misalnya, konsumsi berbagai substrat seperti limbah buah, sayur, rumah potong, lumpur, dan kotoran) (Arnone *et al.*, 2022). Proses konversi limbah organik dengan BSFL menghasilkan biomassa bernilai tambah yang terakumulasi dalam tubuh larva, seperti protein dan lipid (Barragan-Fonseca *et al.*, 2017; Ooninx *et al.*, 2019). Ekstraksi komponen spesifik seperti minyak yang dihasilkan BSFL, merupakan topik penelitian terkini dengan tujuan pengembangan *biorefinery* berbasis serangga (Ravi *et al.* 2020).

Minyak BSFL atau *Black Soldier Fly Laevae Oil* (BSFLO) merupakan salah satu produk yang dihasilkan dari larva *Black Soldier Fly* yang memiliki karakteristik mendekati minyak nabati. Komposisi asam lemak BSFLO dengan komponen utama asam laurat (48%), asam palmitat (16%), dan asam miristat (11%) yang mirip dengan minyak inti sawit dan kelapa (Matthäus *et al.*, 2019). Selain itu, komposisi sterol BSFLO didominasi oleh fitosterol seperti campesterol dan

β -sitosterol, sedangkan kolesterolnya relatif rendah (Boukid *et al.*, 2021). Namun, beberapa penelitian sebelumnya cenderung membahas pemanfaatan BSFLO sebagai biodiesel atau substitusi BSFLO dalam pakan ternak seperti ikan dan unggas, sedangkan pengaplikasian BSFLO sebagai konsumsi manusia belum banyak ditemukan.

Beberapa studi penelitian menunjukkan pemanfaatan variasi limbah perkebunan sebagai pakan BSFL yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan akumulasi lipid dalam tubuh larva. Salah satu faktor utama dalam performa pertumbuhan BSFL adalah komposisi nutrisi pakan (Siddiqui *et al.*, 2022). Namun, beberapa penelitian tersebut hanya berfokus pada efisiensi konversi limbah dan pertumbuhan larva saja seperti perbedaan umur panen (Intayung *et al.*, 2021), pola pemberian pakan (Nyakeri *et al.*, 2019), dan suhu lingkungan (Shumo *et al.*, 2019). Sementara penelitian yang mengkaji secara simultan pertumbuhan larva, rendemen minyak, dan karakteristik mutu minyak dari pemberian pakan tertentu masih terbatas di Indonesia.

Sementara itu, sektor perkebunan di Indonesia diperkirakan akan terus meningkat setiap tahunnya karena tingginya permintaan pasar, salah satunya adalah kopi (Analianasari *et al.*, 2025). Mengacu pada data Zargustin *et al.* (2025) produksi kopi di Indonesia tahun 2025/2026 diperkirakan akan terus bertumbuh mencapai 789.260 ton. Adapun peningkatan produksi kelapa di Indonesia juga diperkirakan mencapai 17.98 juta ton (Food and Agriculture Organization, 2025). Hal ini mengindikasikan bahwa seiring dengan peningkatan produksi sektor perkebunan, tentu berbanding lurus dengan peningkatan limbah yang dihasilkan.

Setiap pengolahan buah kopi, baik proses kering (*dry process*) maupun basah (*wet process*), menghasilkan limbah padat berupa kulit ari, *pulp* (kulit buah), *parchmen*, dan *silverskin*, yang jumlahnya mencapai 50% dari berat kering kopi (Klingel *et al.*, 2020). Sedangkan pada setiap pengolahan daging kelapa menghasilkan 20% limbah ampas kelapa yang pemanfaatannya belum dimaksimalkan (Savika *et al.*, 2023). Padahal, kulit buah kopi dan ampas kelapa diketahui masih mengandung makronutrien yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Makronutrien kulit buah kopi masih memiliki karbohidrat (45–89%), protein (4–12%), lemak (1–2%), dan mineral (6–10%) (Klingel *et al.*, 2020). Sementara itu, ampas kelapa diketahui masih mengandung 5-6% protein, 26-29% lemak dan 9-16% serat (Irmayanti *et al.*, 2024; Ayuti *et al.*, 2022; Sudarmi *et al.*, 2020).

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Shu *et al.* (2024) berfokus pada kualitas fisikokimia BSFLO dengan pengaruh pakan limbah roti saja tanpa menguji kadar kolesterol produk. Selain itu, penelitian yang dilakukan Borgevik *et al.* (2022) juga hanya berfokus pada penggunaan pakan komersial standar terhadap profil lipid BSFLO tanpa mengukur kadar kolesterol atau cemaran logam berat pada produk. Adapun penelitian oleh Bessa *et al.* (2021) yang hanya menganalisis keberadaan logam berat pada larva, tanpa analisis lebih lanjut pada produk minyak yang dihasilkan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mendalami kualitas rendemen, kolesterol, dan logam berat BSFLO, serta pertumbuhannya berbasis pakan ampas kelapa dan kulit kopi. Adapun dengan hasil penelitian ini, penulis

mengharapkan adanya inovasi dan dukungan lebih lanjut untuk pengaplikasian BSFLO sebagai sumber minyak alternatif berbasis serangga yang berkelanjutan.

1.2. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas rendemen, kolesterol, dan logam berat BSFLO, serta pertumbuhannya berbasis pakan ampas kelapa dan kulit kopi. Manfaat dari penelitian ini adalah mengevaluasi pemberian pakan berbasis limbah ampas kelapa dan kulit kopi terhadap BSFL dan BSFLO, serta memberikan rekomendasi pemanfaatan *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL) sebagai agen biokonversi limbah ampas kelapa dan kulit kopi.

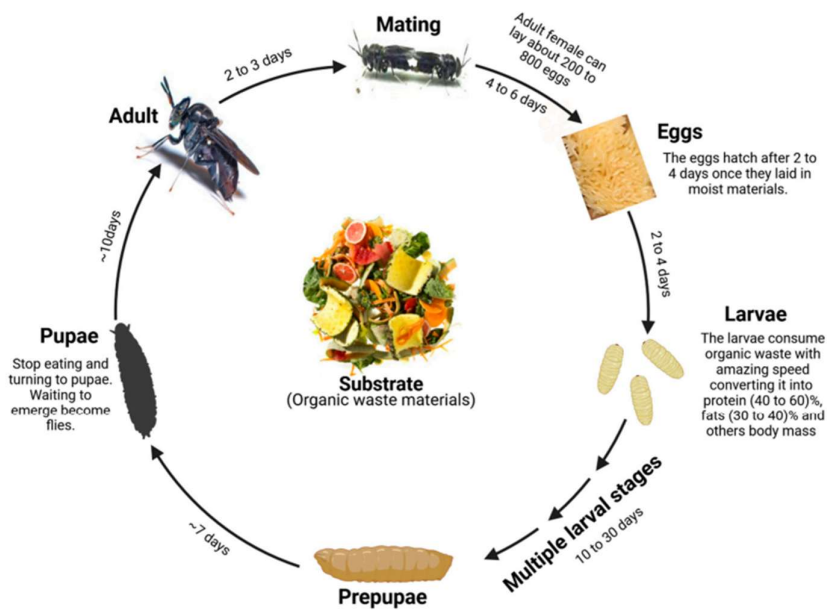
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL)

Black Soldier Fly Larvae (BSFL) adalah salah satu bagian dari siklus hidup (fase larva) lalat *Black Soldier Fly* (BSF, *Hermetia illucens*) yang dikenal dengan potensinya yang menjanjikan sebagai agen biokonversi berbagai limbah organik seperti limbah makanan, pertanian, hingga peternakan. Secara alami BSFL hidup di lingkungan tropis-subtropis, sehingga pemanfaatannya untuk pengolahan limbah organik dari BSFL ini berkembang pesat, terutama di negara yang memiliki kondisi iklim yang mendukung seperti Indonesia (da Silva dan Hesselberg, 2020). BSFL dapat mengonsumsi berbagai limbah organik dan mengonversinya menjadi biomassa yang kaya akan protein dan lemak (Ravi *et al.*, 2020).

Berdasarkan Dortmans *et al.* (2017), siklus hidup BSF dimulai dari telur yang menetas dalam 3-4 hari menjadi bayi larva. Kemudian, bayi larva atau yang biasa disebut dengan *baby maggot* ini dibesarkan di dalam wadah pembesaran selama ± 14 hari dengan media pakan limbah organik dan menjadi larva atau BSFL. Setelah itu, larva kemudian akan memasuki fase prepupa, dimana mereka berhenti makan, mengalami perubahan warna, dan bermigrasi ke tempat yang lebih kering untuk menjauh dari predator. Tahap selanjutnya adalah pupa, dimana tahap menuju fase metamorfosis yang memerlukan waktu 2-3 minggu dalam kepompongnya dan kemudian keluar menjadi lalat dewasa. Lalat BSF yang telah dewasa setelah itu akan kawin, bertelur, dan mati, dan siklus hidup kembali berulang.



Ilustrasi 1. Siklus Hidup BSFL
 Salahuddin *et al.*, (2024)

Proses pertumbuhan BSFL memerlukan adanya kondisi lingkungan yang mendukung seperti temperatur, kelembaban (kadar air), dan ukuran partikel dari substrat. BSFL memerlukan kondisi lingkungan yang berada pada suhu 25-30°C dengan tidak terpapar sinar matahari secara langsung (Shumo *et al.*, 2019). Kadar air dalam substrat pakan diharapkan mencapai 45-80% agar memudahkan larva mengonsumsi substrat (Dortmans *et al.*, 2017). Ukuran dari partikel substrat juga berperan penting dalam penyerapan substrat BSFL. Mulut BSFL menggunakan mekanisme penyaringan dan penghalusan substrat, sehingga larva akan lebih mudah memproses substrat dalam ukuran yang kecil, lembek, atau bahkan yang sudah berair (Bruno *et al.*, 2020).

Komposisi protein dari BSFL diketahui sebesar 36-63% (*berat kering, bk*), dan lipid sebesar 39% (*bk*) (Barragan-Fonseca *et al.*, 2017). Dua keunggulan inilah

yang membawa BSFL banyak digunakan sebagai bahan pakan untuk berbagai jenis hewan seperti babi, unggas, dan ikan guna meningkatkan biomassa hewan ternak tersebut. Sementara itu, BSFLO memiliki komposisi asam lemak dengan komponen utama asam laurat (48%), dimana asam laurat dikenal memiliki sifat antimikroba yang fungsional (Bogevik *et al.*, 2022). Selain itu, komposisi sterol BSFLO juga didominasi oleh fitosterol dan rendah kolesterol dibandingkan dengan jenis serangga lain (Boukid *et al.*, 2021). Namun, kualitas BSFLO sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang memengaruhi akumulasi lipidnya mulai dari fase pertumbuhan larva. Salah satu faktor yang memengaruhi pertumbuhan BSFL adalah komposisi nutrisi pakan.

2.2 Komposisi Nutrisi Pakan BSFL

Walaupun BSFL merupakan organisme yang mudah mengonversi berbagai jenis limbah organik, tidak semua limbah organik menghasilkan kuantitas dan kualitas yang sama. Komposisi makronutrien seperti protein dan karbohidrat dalam substrat pakan memengaruhi pertumbuhan dan komposisi tubuh larva. Menurut penelitian Rasdi *et al.* (2023), protein yang lebih tinggi dari limbah kedelai mempercepat pertumbuhan berat BSFL daripada bungkil sawit. Hal ini didukung oleh Eggink *et al.* (2023), yang menyatakan bahwa 10-30% (berat kering) protein dalam pakan menghasilkan kinerja dan pertumbuhan larva paling ideal.

Dominasi komposisi makronutrien tertentu pada pakan dapat memberikan pengaruh pada pertumbuhan BSFL. Berdasarkan penelitian Grossule *et al.* (2025), proporsi pakan yang baik untuk pertumbuhan BSFL diantaranya memiliki

karbohidrat tertinggi, diikuti protein, lalu lemak. Hal ini sesuai dengan yang dilaporkan oleh Kießling *et al.* (2023), dimana walaupun protein kasar mencapai $\pm 9\%$ (berat kering) menunjukkan hubungan linear terhadap pertumbuhan berat larva, pengaruh lipid bersifat optimum pada 10%, dan menurun seiring peningkatan kadar lipid pakan. Adapun hasil penelitian dari Eggink *et al.* (2023), rasio karbohidrat dan protein yang paling optimal bagi pertumbuhan larva adalah 2:1 atau 3:1. Namun, penentuan komposisi yang tepat sangat bergantung pada jenis bahan pakan yang digunakan, khususnya pada formulasi beberapa jenis bahan pakan.

2.3 Bahan Pakan

Limbah perkebunan menjadi salah satu jenis limbah yang potensial dimanfaatkan sebagai pakan BSFL. Ketersediaannya yang melimpah dan mudah diperoleh dapat mencukupi kebutuhan pakan dalam proses budidaya larva. Limbah perkebunan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ampas kelapa dan kulit kopi. Menurut beberapa penelitian, ampas kelapa dimanfaatkan sebagai peningkatan kandungan lipid BSFL. Hal ini sesuai dengan penelitian oleh Mohd-Noor *et al.* (2017) dimana ampas kelapa dapat meningkatkan lemak tubuh BSFL mencapai 10-30%. Komposisi ampas kelapa masih mengandung lemak yang cukup untuk pertumbuhan larva. Komposisi lemak pada ampas kelapa diketahui sebesar 26-29% (Irmayati *et al.*, 2024; Ayuti *et al.*, 2022; Sudarmi *et al.*, 2020).

Sementara itu, kulit kopi yang masih memiliki kandungan karbohidrat (45–89%), protein (4–12%), lemak (1–2%) yang dapat dimanfaatkan sebagai substrat BSFL. Namun, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh

Ospina-Granobles dan Carrejo-Gironza (2021), biomassa larva yang diperoleh dengan substrat kulit kopi tidak optimal dibandingkan dengan substrat lain karena nilai efisiensi konversi pakan yang rendah yakni 7,89%. Hal ini mengindikasikan bahwa kulit kopi rendah akan daya cerna sebagai substrat. Selain itu, komposisi nutrisi dari ampas kelapa dan kulit kopi juga belum mencapai protein dan karbohidrat yang cukup untuk BSFL. Oleh karena itu, diperlukan *co-feeding* untuk mendukung peningkatan berat larva. Penelitian oleh Vargas-Serna *et al.*, (2025) menyatakan bahwa substrat kulit kopi dengan kombinasi substrat lainnya (*co-feeding*) dapat meningkatkan kadar protein dan lemak pada substrat, sehingga mendukung pertumbuhan larva. Adapun penelitian pendahuluan dari penelitian ini juga menunjukkan penggunaan pakan tunggal (*single feeding*) tidak memberikan pertumbuhan yang normal pada larva.

Penelitian ini menggunakan dua jenis limbah tambahan yaitu ampas tahu dan limbah roti pakan penyeimbang BSFL. Ampas tahu memiliki kandungan protein sebanyak 21%, lemak 3,9%, air 51,63%, dan abu 1,21% (Masir *et al.*, 2020). Protein pada ampas tahu dimanfaatkan BSFL sebagai sumber nutrisi, yang selanjutnya dicerna oleh enzim protease pada pencernaan larva (Intayung *et al.*, 2020). Kandungan air yang tinggi serta ukuran partikel yang halus pada ampas tahu juga membantu BSFL dalam proses penyerapan substrat pakan.

Sementara itu, limbah roti merupakan limbah industri roti yang dihasilkan sebanyak 25% dari tiap produksi, baik karena sudah tidak layak konsumsi maupun kadaluwarsa (Saripudin *et al.*, 2019). Limbah roti merupakan produk sampingan yang kaya akan karbohidrat (50–70%) yang secara efektif dapat menyeimbangkan

karbohidrat pada substrat (Abdelmaksoud *et al.*, 2026). Hal ini didukung oleh penelitian Caivano *et al.* (2025) yang menunjukkan bahwa penambahan roti pada substrat meningkatkan kandungan lipid BSFL hingga 25-60%. Berkenaan dengan penggunaan limbah yang terkontrol sebagai substrat pakan BSFL, performa pertumbuhan BSFL dievaluasi melalui profil berat sebagai parameter untuk melihat respon larva terhadap pakan yang tersedia.

2.4 Profil Berat

Profil berat diambil dari rata-rata pertambahan berat setiap harinya pada tiap perlakuan mulai dari hari pertama pemberian pakan (memasuki minggu ke-3, hari ke-14) hingga larva mencapai berat konstan atau turun. Larva tumbuh secara eksponensial hingga mencapai berat tertentu karena larva akan berhenti konsumsi substrat ketika sudah memasuki fase prepupa (Eriksen, 2022). Oleh karena itu, berat BSFL yang telah mencapai angka konstannya mengindikasikan berat maksimal yang diperoleh larva. Parameter ini digunakan untuk menunjukkan bagaimana substrat pakan yang tersedia memberikan peningkatan berat BSFL setiap harinya. Profil berat juga akan mengindikasikan proporsi nutrisi mana yang menghasilkan berat harian BSFL tertinggi (Kießling *et al.*, 2023).

Penelitian dari Broeckx *et al.* (2021) menunjukkan bahwa biomassa larva dengan substrat limbah makanan industri, pakan anak ayam, dan ampas bir, yang lebih tinggi daripada substrat ampas apel, akar chirory, dan limbah rumah tangga. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Kießling *et al.* (2023) melaporkan bahwa substrat limbah kentang, ampas wortel, dan ampas bir memiliki profil berat larva

yang lebih rendah dibandingkan substrat kontrol, bungkil biji kanola, dan ragi bir. Hal ini menunjukkan bahwa setiap substrat pakan memiliki massa maksimal pada berat akhir larva dalam proses biokonversi. Selain mengevaluasi profil berat larva, analisis terhadap rendemen produk yang dihasilkan juga menjadi parameter untuk menilai efisiensi dari keseluruhan proses produksi tersebut.

2.5 Rendemen

Nilai rendemen didapatkan dari jumlah produk yang dihasilkan terhadap bahan awal yang digunakan. Nilai rendemen tidak hanya berlaku pada hasil akhir produk, melainkan pada setiap tahapan prosesnya (Deruytter *et al.*, 2023). Konteks nilai rendemen pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan proses, yaitu tahap pengeringan, ekstraksi, purifikasi, dan keseluruhan proses produksi. Tahap pertama adalah pengeringan, dimana tahap ini dapat menghasilkan nilai berat kering larva dengan menghilangkan komponen air pada larva. Sesuai dengan Spranghers *et al.* (2017) yang melaporkan berat kering BSFL sebesar 30-39% dan sisanya adalah air. Rendemen pada tahap ini dihitung berdasarkan pembagian dari berat kering dengan berat basah (panen) larva.

Tahap kedua adalah tahap ekstraksi, dimana pada tahap ini efisiensi proses ekstraksi pada proses produksi minyak BSFL dapat diketahui. Tahap ini menunjukkan besar volume minyak maksimal yang keluar dari tubuh larva (Kabutey *et al.*, 2022). Tahap selanjutnya adalah tahap purifikasi atau pemurnian (*bleaching*), dimana pada tahap ini efisiensi proses purifikasi dapat diketahui. Proses *bleaching* berfungsi mengikat berbagai komponen oksidatif untuk

memurnikan minyak. Oleh karena itu, tinggi rendahnya rendemen *bleaching* menggambarkan kuantitas minyak yang berhasil dipertahankan setelah pemurnian (Mai *et al.*, 2019). Tahap terakhir yang dihitung nilai rendemennya adalah nilai keseluruhan atau *overall*. Nilai ini akan menunjukkan besaran efisiensi produksi minyak BSFL. Pakan yang optimal dari formulasi ampas kelapa dan kulit kopi diharapkan tidak hanya menghasilkan berat panen basah yang tinggi, tetapi juga memiliki lipid yang tinggi dengan kualitas yang baik (Danieli *et al.*, 2019). Salah satu parameter dalam menentukan kualitas dan nilai fungsional BSFLO tersebut adalah kadar kolesterolnya.

2.6 Uji Kadar Kolesterol

Black Soldier Fly Larvae Oil (BSFLO) merupakan minyak yang didominasi oleh asam lemak jenuh (*Saturated Fatty Acid*, SFA), terutama asam laurat. Asam laurat sebagai salah satu SFA diketahui berkontribusi terhadap peningkatan kadar kolesterol. Penelitian dari Ewald *et al.* (2020) menyatakan bahwa asam laurat (C12:0) pada larva berada pada rentang 13-52% tergantung pakan yang digunakan. Dalam konteks kebutuhan kolesterol dalam tubuh manusia, meskipun kolesterol berperan penting dalam pembentukan hormon dan vitamin D, konsumsi berlebih dapat menyebabkan risiko serangan jantung atau *stroke* (Li *et al.*, 2019). Oleh karena itu, pengujian kadar kolesterol menjadi parameter yang penting dalam evaluasi kualitas minyak BSFL sebagai salah satu produk pangan alternatif.

Pengujian kadar kolesterol dalam penelitian ini menggunakan metode determinasi kolesterol dengan instrumen Gas Chromatography - Flame Ionization

Detector (GC-FID) berdasarkan ASEAN *Manual of Nutrient Analysis* (2011). Prinsip dari metode ini adalah memisahkan kolesterol dari senyawa lain pada kolom kromatograf. Beberapa tahapan dalam metode ini meliputi saponifikasi, ekstraksi, derivatisasi, dan analisis menggunakan GC. Metode ini dinilai termasuk lebih *reliable*, sensitif, dan akurat sehingga banyak digunakan dalam analisis kolesterol pada bahan pangan (Li *et al.*, 2019). Selain karakteristik nutrisi seperti kolesterol, aspek keamanan terkait kontaminasi logam berat juga menjadi parameter penentu kualitas minyak yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan substrat pakan yang digunakan berpotensi membawa residu logam berat ke dalam rantai produksi.

2.7 Uji Kandungan Logam Berat

Beberapa penelitian terkait *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL) memfokuskan penelitian terhadap akumulasi logam berat pada tubuh larva. Hal ini menjadi pertimbangan dalam konteks pakan dan keamanan pangan, karena logam berat berpotensi terhadap risiko kesehatan (Truzzi *et al.*, 2019). Penelitian yang dilakukan oleh Addeo *et al.* (2024) mengungkapkan BSFL dengan substrat pakan campuran sayuran menghasilkan nilai As (1.95 µg/kg), Cd (3.53 µg/kg), dan Pb (6.45 µg/kg). Sementara itu, penelitian oleh Bulak *et al.* (2018) menyatakan bahwa terdapat akumulasi Cd pada larva menunjukkan ketahanan *H. illucens* terhadap logam tersebut. Hal ini mengindikasikan bahwa kadar logam berat dalam pakan perlu dikontrol, terutama produk BSFLO.

Logam berat yang diuji pada penelitian ini meliputi Arsen (As), Kadmium (Cd), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Timah (Sn). Logam-logam ini merupakan

logam yang bersifat toksik yang dapat ditemui pada bahan pertanian, seperti limbah perkebunan yang digunakan dalam penelitian ini sebagai pakan BSFL. Peraturan terkait logam berat juga tercantum pada BPOM Tahun 2022 tentang Persyaratan Cemarkan Logam Berat dalam Pangan Olahan bahwa batas maksimal cemarkan logam Arsen (As), Kadmium (Cd), Merkuri (Hg), Timbal (Pb) berturut-turut 0,10 mg/kg; 0,02 mg/kg; 0,02 mg/kg; 0,05 mg/kg. Sementara itu, logam berat Sn tidak tercantum pada batas maksimum pada peraturan tersebut, sehingga untuk batas maksimum Sn mengacu pada SNI produk pangan lain yang memiliki parameter cemarkan timah, yaitu SNI 01-4320-1996 Serbuk Minuman Tradisional, sebagai acuan pembandingan secara umum. Batas maksimum cemarkan logam Sn adalah 40 mg/kg. Oleh karena itu, pengujian kandungan logam berat ini sangat penting dilakukan terutama untuk pengaplikasian pada manusia sebagai bahan pangan.

BAB III

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di Ben Resik Farm Jl. Burangrang Raya Jangli Semarang, Laboratorium Rekayasa Pangan dan Hasil Pertanian serta Laboratorium Kimia dan Gizi Pangan, Fakultas Peternakan dan Pertanian, Teknologi Pangan Universitas Diponegoro mulai dari pemeliharaan, ekstraksi, hingga pengujian parameter. Waktu penelitian berlangsung pada bulan Juni 2025 – Februari 2026. Parameter yang diamati dalam penelitian ini meliputi komposisi nutrisi pakan, profil berat, rendemen, kadar kolesterol, dan kandungan logam berat.

3.1 Materi Penelitian

Bahan yang digunakan dalam pemeliharaan *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL) diantaranya adalah telur BSF sebanyak 2 g setiap perlakuan yang diperoleh dari Ben Resik Farm Jl. Burangrang Raya Jangli (Semarang, Indonesia), ampas kelapa dari Pasar Rasamala (Semarang, Indonesia), kulit kopi dari Pondok Kopi Umbul Sidomukti (Semarang, Indonesia), ampas tahu dari Pabrik Tahu Eco (Semarang, Indonesia), dan limbah roti dari Lawu Roti (Semarang, Indonesia). Bahan yang digunakan untuk purifikasi minyak adalah *bleaching earth* dari Terram PT Dwi Karya Bentonit Indonesia (Tangerang, Indonesia). Bahan yang digunakan untuk pengujian parameter diantaranya adalah sampel BSFLO, katalis selenium campuran Merck (Jerman), asam sulfat pro analisis Merck (Jerman), asam borat (H_3BO_3) 4% Merck (Jerman), indikator merah metilen (MR) dan biru metilen (MB)

Merck (Jerman), natrium hidroksida (NaOH) 45% Merck (Jerman), hidrogen klorida (HCl) 0,1 N Merck (Jerman), n-heksana (AR) Merck (Jerman), larutan KOH 50% (AR) Merck (Jerman), etanol 95% Merck (Jerman), Dimethylformamide (DMF) Merck (Jerman), larutan kolesterol standar, larutan standar internal yttrium, larutan standar 5α -cholestane (0,1 mg/mL), Hexamethyldisilane (HMDS), rangkaian standar logam campuran, asam nitrat pekat (HNO_3) Merck (Jerman), hidrogen peroksida (H_2O_2) Merck (Jerman), asam klorida (HCl) Merck (Jerman), dan asam nitrat (HNO_3) Merck (Jerman).

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian ini meliputi rancangan percobaan, prosedur penelitian, pengujian parameter, dan analisis data yang diperoleh dari hasil percobaan. Urutan metode penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

3.2.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan 4 perlakuan dengan 1 perlakuan kontrol dan 3 perlakuan pakan formulasi. Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali ulangan, sehingga didapatkan 12 unit percobaan. Perlakuan formulasi pakan yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Kontrol = limbah roti 100%
2. KLKP 50/20 = limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 50%, dan kulit kopi 20%

3. KLKP 45/25 = limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 45%, dan kulit kopi 25%
4. KLKP 40/30 = limbah roti 15%, ampas tahu 15%, ampas kelapa 40%, dan kulit kopi 30%

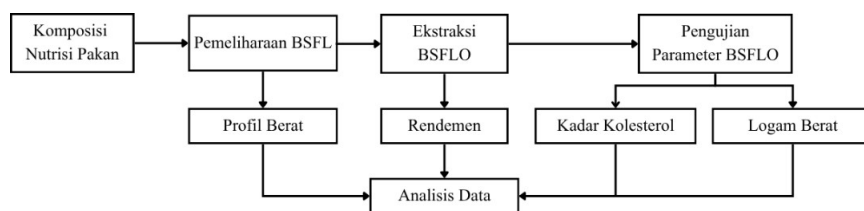
Desain percobaan perlakuan dan ulangan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Desain Percobaan Kombinasi Perlakuan dan Ulangan

Jenis 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

3.2.2. Prosedur Penelitian

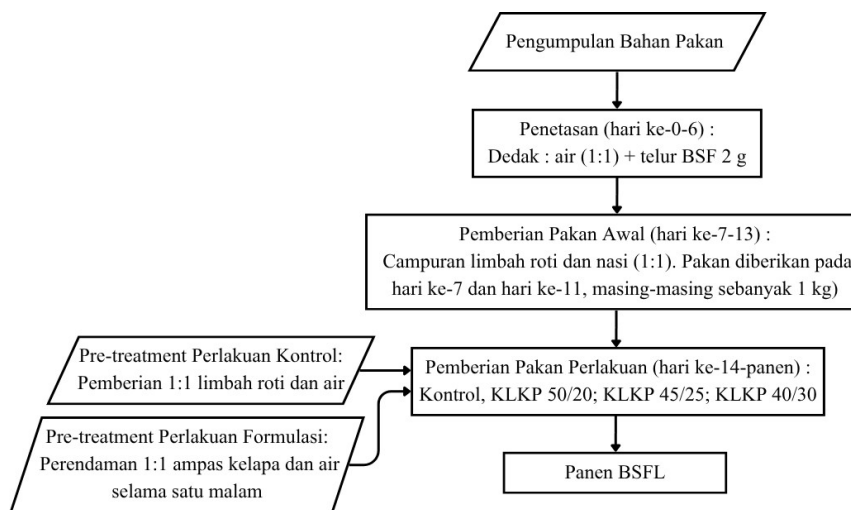
Prosedur penelitian terdiri dari 3 tahapan, yaitu tahap pemeliharaan BSFL, ekstraksi BSFLO dan pengujian parameter. Diagram alir prosedur penelitian dapat dilihat pada Ilustrasi di bawah ini.



Ilustrasi 2. Diagram Alir Prosedur Penelitian

3.2.2.1 Pemeliharaan *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL)

Pemeliharaan *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL) dilakukan dengan mengacu pada penelitian Bessa *et al.* (2021) yang dimodifikasi. Sumber bahan pakan untuk pemeliharaan larva diperoleh dari berbagai titik di Semarang. Wadah untuk pemeliharaan *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL) terbuat dari baskom plastik yang ditutupi dengan kawat jaring. Wadah disimpan di tempat teduh, lembap, dengan suhu sekitar 25-30°C. Pakan formulasi dibuat dari kombinasi ampas kelapa, ampas tahu, kulit kopi, dan limbah roti. Diagram alir pemeliharaan BSFL disajikan pada ilustrasi berikut ini.



Ilustrasi 3. Diagram Alir Pemeliharaan BSFL

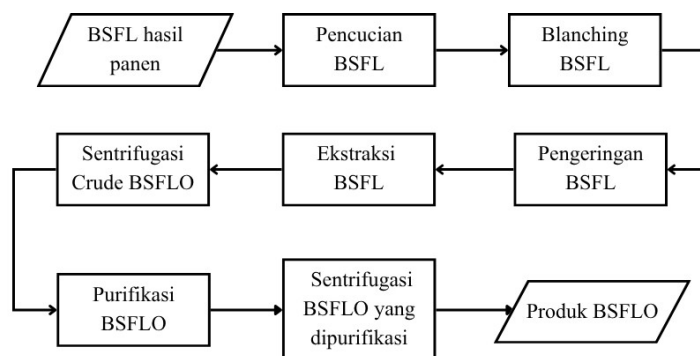
Setelah pengumpulan substrat pakan dilakukan, tahap selanjutnya adalah penetasan. Dedak dan air digunakan sebagai media penetasan selama 7 hari pertama dengan telur BSFL sebanyak 2 g untuk tiap perlakuan. Penyemprotan air dilakukan apabila kelembaban media rendah (mulai mengering) setiap 2 hari sekali selama 1

minggu. Setelah 7 hari, bayi larva yang sudah menetas dipindahkan ke box plastik berukuran lebih besar (60x45x17cm) untuk diberi pakan campuran roti dan nasi (1:1). Campuran roti dan nasi (1:1) diberikan sebagai pakan awal larva di hari ke-7 dan ke-11, masing-masing sebanyak 1 kg.

Ampas kelapa diberikan pre-treatment yaitu direndam air selama satu malam dengan perbandingan 1:1 dan untuk kulit kopi sudah diterima dalam keadaan terfermentasi alami. Selanjutnya pada hari ke-14, larva diberikan pakan perlakuan sebanyak 1 kg per hari hingga larva siap dipanen. Berat hasil penimbangan BSFL yang telah mencapai konstan atau menurun pada 2 hari berturut-turut akan menentukan waktu panen larva.

3.2.2.2 Ekstraksi Black Soldier Fly Larvae Oil (BSFLO)

Ekstraksi *Black Soldier Fly Larvae Oil* (BSFLO) dilakukan dengan mengacu pada penelitian Hurtado-Ribeira, (2023); Kierończyk, (2022); Ifa, (2021). Proses ekstraksi dilakukan dengan beberapa tahapan untuk menghasilkan produk BSFLO yang diinginkan. Diagram ekstraksi *Black Soldier Fly Larvae Oil* (BSFLO) disajikan dalam Ilustrasi di bawah ini.



Ilustrasi 4. Diagram Alir Ekstraksi BSFLO

Mengacu pada penelitian Hurtado-Ribeira, (2023), *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL) terlebih dahulu dicuci dengan air mengalir hingga sisa kotoran yang menempel pada larva seluruhnya hilang. Kemudian BSFL dilakukan *blanching* sebagai proses desinfeksi dan mematikan larva menggunakan air mendidih pada suhu 90°C, ±20 detik dan disaring. Kemudian BSFL dikeringkan menggunakan *cabinet dryer* (Maksindo, Indonesia) pada suhu 60°C selama 24 jam.

Proses selanjutnya adalah ekstraksi BSFLO secara mekanis yang dilakukan menggunakan *single screw press oil extractor* (Dearok-B03, China). Ekstraksi dilakukan dengan suhu terkontrol 40-50°C. Hasil ekstraksi berupa *crude oil* kemudian diseparasi menggunakan *refrigerated centrifuge* (OHAUS Frontier 5718R, Jerman) dengan kecepatan 6000 rpm, 15 menit. Setelah itu, minyak dipurifikasi atau *bleaching* menggunakan adsorben *bleaching earth* sebanyak 7,5% dari berat *crude oil* yang diperoleh. Proses *bleaching* dilakukan menggunakan *over head stirrer* IKA RW 20 Digital (Jerman), dengan kecepatan 750 rpm, 40 menit. Hasil *bleaching* kemudian diseparasi kembali menggunakan *refrigerated centrifuge* (OHAUS Frontier 5718R, Jerman) dengan kecepatan 6000 rpm, 15 menit. Hasil separasi dari proses *bleaching* kemudian ditimbang dan diperoleh BSFLO.

3.2.3 Pengujian Parameter

3.2.3.1. Metode Pengujian Komposisi Nutrisi Pakan

Kadar air, protein, lemak, dan abu ditentukan menggunakan metode yang dijelaskan dalam AOAC 2005. Karbohidrat total ditentukan dengan metode *by difference* dari total persentase air, protein, lemak, dan abu. Komposisi nutrisi

pakan menjadi dasar evaluasi pengaruh pakan terhadap pertumbuhan, hasil ekstraksi BSFLO, dan mutu produk BSFLO yang dihasilkan.

a. Kadar Air

Nilai kadar air diperoleh dengan menghilangkan kandungan air pada sampel yang telah dimaserasi menggunakan oven kadar air (UN30 Memmert Drying Oven, Jerman). Cawan porselin dipanaskan terlebih dahulu di dalam oven dengan suhu 105°C selama satu jam, kemudian ditimbang. Sampel kemudian ditimbang di dalam cawan porselin sebanyak 2 g. Sampel kemudian dipanaskan pada oven dengan suhu 105°C selama 4 jam. Setelah selesai, sampel dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit dan kemudian ditimbang. Proses oven dilakukan kembali hingga mencapai berat konstan, lalu kadar air dihitung berdasarkan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{\text{Sampel awal (g)} - (\text{Sampel konstan (g)} - \text{Cawan Porselin (g)})}{\text{Sampel awal (g)}}$$

b. Kadar Protein

Nilai kadar protein diperoleh menggunakan metode Kjeldahl dengan Kjeldahl *apparatus* (Gerhardt, Jerman). Sampel dimaserasi sebanyak 0,5 g dimasukkan ke dalam labu Kjeldahl. Kemudian pada labu Kjeldahl dimasukkan katalisator campuran selenium sebanyak 0,5 g dan asam sulfat teknis sebanyak 10 ml. Setelah itu, sampel didestruksi hingga warna hijau jernih pada lemari asam, kemudian didinginkan. Lalu sampel didestilasi menggunakan larutan perangkap H₃BO₃ 4% sebanyak 5 ml dan 2 tetes indikator MR+MB. Sampel yang telah didestruksi

dimasukkan ke dalam labu destilasi dan ditambahkan 100 ml akuades dan 40 ml NaOH 45%. Destilasi dilakukan hingga larutan perangkap berubah warna dari ungu menjadi hijau dengan destilat 40 ml. Hasil destilat kemudian dititrasi menggunakan HCl 0,1 N.

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

$$\text{➤ Nitrogen Total (\%)} = \frac{(\text{Titran sampel (mL)} - \text{Blanko (mL)}) \times N_{HCl} \times 14,008}{\text{Berat sampel (g)} \times 1000} \times 100\%$$

c. Kadar Lemak

Kandungan lemak total sampel diekstraksi menggunakan alat Soxhlet *apparatus* (Pyrex®, Germany). Kertas saring halus berukuran 11x11 cm disiapkan sebanyak sampel yang akan diuji, dikeringkan menggunakan oven (UN30 Memmert Drying Oven, Jerman) dengan suhu 105°C, 1 jam. Sampel dimaserasi, ditimbang sebanyak 2 g, dimasukkan ke dalam kertas saring, dan dilipat sampai sampel terkunci. Sampel yang telah terbungkus kertas saring kemudian dipanaskan kembali dalam oven selama 4 jam.

Setelah selesai, sampel dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit dan kemudian ditimbang. Proses oven dilakukan kembali hingga mencapai berat konstan. Lalu, seluruh sampel dimasukkan ke dalam Soxhlet dan ditambahkan n-hexane (*Analytical Grade*) sebanyak 2,5 – 3 kali volume Soxhlet. Kemudian kondensor dipasang, Soxhlet dihubungkan dengan labu pemanas dan *hotplate* dengan suhu 50°C, 6 jam. Setelah itu, sampel diangin-anginkan selama 30 menit di udara terbuka, dikeringkan dalam oven suhu 105°C selama 1 jam,

dan didinginkan dalam desikator selama 15 menit. Perhitungan kadar lemak sebagai berikut:

$$\text{Kadar Lemak (\%)} = \frac{\text{Sampel konstan (g)} - \text{Sampel akhir (g)}}{\text{Sampel awal (g)}}$$

d. Kadar Abu

Pengujian kadar air terlebih dahulu dilakukan sebelum kadar abu. Sampel dari kadar air diabukan pada oven tanur *muffle furnace* (Thermolyne model F6010 Ex, USA) selama 4 jam dengan suhu 600°C. Setelah itu, diamkan tanur 4-6 jam agar suasana tanur tidak terlalu panas. Sampel kemudian diangkat menggunakan penjepit dan dimasukkan ke dalam desikator selama 15 menit. Setelah itu, sampel ditimbang dan dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{\text{Berat abu (g)}}{\text{Berat sampel (g)}} \times 100\%$$

e. Kadar Karbohidrat

Pengujian kadar karbohidrat dilakukan dengan metode *by difference* untuk mengetahui kadar karbohidrat total pada bahan. Kadar karbohidrat total meliputi karbohidrat yang dapat dicerna dan tidak dapat dicerna. Analisis ini ditentukan dengan selisih antara 100 dengan jumlah persentase lemak, air, abu, dan protein seperti rumus dibawah ini.

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

3.2.3.2. Metode Pengujian Profil Berat

Pengujian profil berat dilakukan berdasarkan metode yang dilakukan oleh Deruytter *et al.* (2023) yang dimodifikasi. Profil berat *Black Soldier Fly Larvae* (BSFL) menginterpretasikan peningkatan berat per hari nya berdasarkan perbedaan formulasi substrat pakan. Penimbangan berat BSFL dilakukan secara *sampling* dengan melakukan pengambilan sebanyak 60 ekor BSFL sebanyak 3 kali ulangan pada masing-masing perlakuan. Penimbangan berat BSFL dilakukan mulai hari ke-14 hingga berat BSFL konstan atau menurun. Larva tumbuh secara eksponensial hingga mencapai berat tertentu karena larva akan berhenti mengonsumsi substrat ketika sudah memasuki fase prepupa (Eriksen *et al.*, 2022). Oleh karena itu, berat BSFL yang menunjukkan konstan atau menurun dari berat BSFL sebelumnya, mengindikasikan bahwa BSFL sudah mencapai batas maksimal beratnya. Data hasil penimbangan berat larva diinterpretasikan dalam bentuk diagram *scatter* disertai nilai rata-rata regresi linear menggunakan Microsoft Office Excel.

3.2.3.3. Metode Pengujian Rendemen

Perhitungan rendemen dilakukan pada beberapa tahapan proses mulai dari pengeringan, ekstraksi, *bleaching*, dan *overall*. Perhitungan rendemen dilakukan dengan mengacu pada beberapa metode dari Deruytter *et al.*, 2023; Danieli *et al.*, 2019; Kabutey *et al.*, 2022. Perhitungan rendemen dilakukan dengan rumus berikut.

$$\text{➤ Rendemen Pengeringan (\%)} = \frac{\text{Berat larva setelah dikeringkan (g)}}{\text{Berat panen larva (g)}} \times 100$$

$$\text{➤ Rendemen Ekstraksi (\%)} = \frac{\text{Berat minyak setelah ekstraksi (g)}}{\text{Berat larva setelah dikeringkan (g)}} \times 100$$

$$\text{➤ Rendemen Bleaching (\%)} = \frac{\text{Berat minyak setelah bleaching (g)}}{\text{Berat minyak setelah ekstraksi (g)}} \times 100$$

$$\text{➤ Rendemen Overall (\%)} = \frac{\text{Berat minyak setelah bleaching (g)}}{\text{Berat panen larva (g)}} \times 100$$

3.2.3.4. Metode Pengujian Kadar Kolesterol

Pengujian kadar kolesterol dilakukan dengan mengacu pada *ASEAN Manual of Nutrient Analysis*, Determination of Cholesterol by Gas Chromatography Method (2011). Prosedur analisis diawali dengan 1-5 g sampel dimasukkan ke dalam tabung falcon 50 mL, kemudian dilakukan proses saponifikasi. Proses saponifikasi dilakukan dengan penambahan 1 mL KOH 50% dan etanol 95%, kemudian dipanaskan pada suhu 85-120°C dalam *waterbath* (IKA HB Digital, Jerman) selama 1 jam. Hasil saponifikasi diekstraksi menggunakan 5 mL n-heksana, lalu ekstrak diuapkan dengan *rotary vacuum evaporator* (IKA RV 10, Jerman) hingga kering pada suhu 40°C.

Residu yang diperoleh dilarutkan menggunakan Dimethylformamide (DMF) dan dihomogenkan. Setelah itu, 0,2 mL Heksametildisilazan (HMDS) dan 0,1 mL Trimetilklorosilan (TMCS) dan dimasukkan ke dalam tabung ulir (Iwaki, Jepang) untuk dilakukan proses derivatisasi. Larutan internal standar 5 α -cholestelana (0,1 mg/mL) kemudian ditambahkan dan campuran divorteks (Thermo Scientific, USA) selama 1 menit, diikuti dengan penambahan 10 mL akuades dan pengocokan kuat hingga terbentuk pemisahan fase. Lapisan organik (lapisan atas) selanjutnya diambil dan dimasukkan ke dalam vial GC, kemudian diinjeksikan ke dalam

Gas Chromatography-Flame Ionization Detector (GC-FID) (Perkin Elmer, USA) untuk dianalisis. Perhitungan kadar kolesterol adalah sebagai berikut:

$$\text{Kolesterol (mg/100 g)} = \frac{\text{Nilai dari kurva standar (mg/mL)}}{\text{Berat sampel (g)}} \times \text{Faktor Pengenceran} \times 100$$

3.2.3.5. Metode Pengujian Logam Berat

Pengujian logam berat dilakukan dengan mengacu pada metode AOAC (2011) Determination Heavy Metals of Oil By ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry). Prosedur diawali dengan preparasi sampel sebanyak 0,5 g yang dimasukkan ke dalam *microwave digestion vessel* (CEM MARS Xpress, Amerika Serikat). Sampel kemudian ditambahkan 4 mL asam nitrat pekat (HNO_3) pekat dan 1 mL hidrogen peroksida (H_2O_2). Khusus untuk analit Sn, ditambahkan campuran asam klorida (HCl) dan asam nitrat (HNO_3) lalu didiamkan selama 15 menit. Setelah itu, *vessel* ditutup dan proses destruksi dilakukan menggunakan *microwave digester* (CEM MARS Xpress, USA).

Setelah proses destruksi, sampel didinginkan dan dipindahkan ke dalam labu ukur dan dilarutkan dengan akuades hingga volume akhir 50 mL. Kemudian ditambahkan larutan internal standar yttrium dan disentrifugasi pada 3000 rpm menggunakan sentrifus 5702 (Eppendorf, Jerman). Supernatan dipindahkan ke tabung bersih sebelum dianalisis menggunakan ICP-OES tipe 720 (Agilent Technologies, USA). Intensitas emisi diukur pada panjang gelombang spesifik untuk masing-masing unsur. Perhitungan kadar logam/mineral dalam sampel

dengan menggunakan kurva kalibrasi standar dengan persamaan garis: $Y = bx + a$,
rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar Logam/Mineral (ppm,mg/L,mg/Kg)} = \frac{\frac{A_{spl}-a}{b} \times V \times fp}{W_{spl} \text{ atau } V_{spl}}$$

Konversi kadar titanium (Ti) menjadi kadar titanium dioksida (TiO₂)
menggunakan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kadar Titanium Dioksida (mg/L,mg/Kg)} = 79.866 / 47.867 \times \text{Kadar Ti}$$

Keterangan:

- A_{spl} = Intensitas sampel
- a = *Intercept* dari kurva kalibrasi standar
- b = *Slope* dari kurva kalibrasi standar
- fp = Faktor pengenceran
- V = Volume akhir larutan uji (mL)
- W_{spl} = Bobot penimbangan porsi uji (g)
- V_{spl} = Volume pemipetan porsi uji (mL)

3.2.4 Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan menyajikan dengan nilai rata-rata, standar deviasi, dan standar error. Sebagian data juga diinterpretasikan dalam bentuk grafik atau tabel menggunakan *software* Microsoft Office Excel 365 versi 2605. Hasil analisis data digunakan untuk menggambarkan kecenderungan dan perbandingan antar perlakuan sebagai dasar dalam pembahasan dan penarikan kesimpulan penelitian.