

**BIOKONVERSI SAMPAH MAKANAN DAN DAUN
DENGAN PEMANFAATAN MAGGOT UNTUK SISA
MAKANAN DI PONDOK PASANTREN TAHFIZH
QUR'AN WAHDAH ISLAMIYAH BANDA ACEH**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

**ARIVANDI ROVIANDA
NIM. 210702060
Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2026 M / 1448 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

**BIOKONVERSI SAMPAH MAKANAN DAN DAUN
DENGAN PEMANFAATAN MAGGOT UNTUK SISA
MAKANAN DI PONDOK PASANTREN TAHFIZH
QUR'AN WAHDAH ISLAMİYAH BANDA ACEH**

TUGAS AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Sains dan
Teknologi Universitas Islam Negeri
(UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Salah Satu Beban Studi Memperoleh Gelar
Sarjana (S1) Dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh:

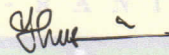
ARIVANDI ROVIANDA

NIM. 210702060

**Mahasiswa Fakultas Sains dan
Teknologi Program Studi Teknik
Lingkungan**

Disetujui untuk dimunaqasyahkan oleh:

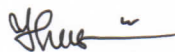
Pembimbing I



Husnawati Yahya, M.Sc.

NIP. 198311092014032002

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan



Husnawati Yahya, M.Sc.

NIP. 198311092014032002

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

BIOKONVERSI SAMPAH MAKANAN DAN DAUN DENGAN PEMANFAATAN MAGGOT UNTUK SISA MAKANAN DI PONDOK PASANTREN TAHFIZH QUR'AN WAHDAH ISLAMIYAH BANDA ACEH

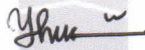
TUGAS AKHIR

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir Fakultas Sains
dan Teknologi UINAr-Raniry Banda Aceh Dinyatakan Lulus Serta Diterima
Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Jumat, 14 Agustus 2026
Jumat 1 Rabiul Awal 1448 H
di Darussalam, Banda aceh

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

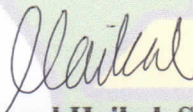
Ketua,



Husnawati Yahya, M.Sc.
NIP. 198311092014032002

Penguji I

Penguji II



Ir. Muhammad Haikal, S.T., MSc.
NIP. 199502252025051003



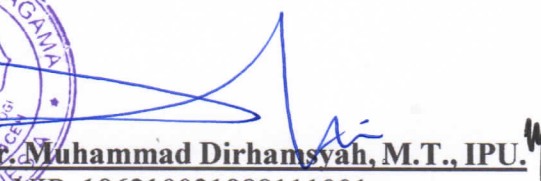
Ir. Syarifah Seicha Fathma, S.T., M.T.

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh




Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU.
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arivandi Rovianda
Nim : 210702060
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Biokonversi Sampah Makanan Dan Daun Dengan Pemanfaatan Maggot Untuk Sisa Makanan Di Pondok Pasantren Tahfizh Qur'an Wahdah Islamiyah Banda Aceh

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari dosen pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya, dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 14 Agustus 2026



Arivandi Rovianda

ABSTRAK

Nama : Arivandi Rovianda
Nim : 210702060
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Biokonversi Sampah Makanan dan Daun dengan Pemanfaatan Maggot untuk Sisa Makanan di Pondok Pesantren Tahfizh Qur'an Wahdah Islamiyah Banda Aceh
Tanggal Sidang : 14 Agustus 2026
Jumlah Halaman : 80
Pembimbing : Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc
Kata Kunci : biokonversi, black soldier fly, maggot, sampah organik, daun kelor

Sampah organik, khususnya sisa makanan, merupakan permasalahan lingkungan yang signifikan di lingkungan pondok pesantren. Salah satu alternatif pengelolaannya adalah biokonversi menggunakan larva *black soldier fly* (BSF) (*Hermetia illucens*). Penelitian ini bertujuan menganalisis kemampuan larva BSF mengurangi substrat berdasarkan *waste reduction index* (WRI), mengonversi substrat menjadi biomassa larva berdasarkan *bioconversion rate* (BCR), serta kelangsungan hidup larva berdasarkan *survival rate* (SR) pada substrat sisa makanan (P1) dan daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai P2. Penelitian dilaksanakan di pondok pesantren tahfizh qur'an wahdah islamiyah banda aceh menggunakan metode eksperimental kuantitatif selama 18 hari masa pemeliharaan, dengan data dianalisis secara deskriptif kuantitatif. Hasil penelitian menunjukkan nilai WRI P1 sebesar 4,663%/hari dan P2 sebesar 4,645%/hari. Nilai BCR P1 mencapai 17,591%, lebih tinggi dibandingkan P2 sebesar 7,304%. Nilai SR P1 sebesar 96,87% dan P2 sebesar 95,07%. Secara keseluruhan, substrat sisa makanan menunjukkan kinerja biokonversi yang lebih baik dibandingkan daun kelor, terutama pada pembentukan biomassa larva, sedangkan pengurangan substrat dan kelangsungan hidup larva relatif berdekatan pada kedua perlakuan. Kedua jenis substrat berpotensi sebagai bahan biokonversi larva BSF di lingkungan pondok pesantren.

ABSTRACT

Name : Arivandi Rovianda
Student ID Number : 210702060
Studi Program : Environmental Engineering
Title : Bioconversion of Food Waste and Moringa Leaves Using
Maggots at Pondok Pesantren Tahfizh Qur'an Wahdah
Islamiyah Banda Aceh
Dute Of Session : 14 August 2026
Number of Pages : 80
Advisor : Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc
Keywords : bioconversion, black soldier fly, maggot, organic waste,
moringa leaves

Organic waste, particularly food waste, poses a significant environmental problem, including at Islamic boarding schools (pesantren) that generate food waste and other organic material daily. One alternative management approach is bioconversion using Black Soldier Fly (BSF) larvae (*Hermetia illucens*). This study aimed to analyze the ability of BSF larvae to reduce substrate based on the Waste Reduction Index (WRI), to convert substrate into larval biomass based on the Bioconversion Rate (BCR), and to determine larval survival based on the Survival Rate (SR) using food waste (P1) and moringa leaves (*Moringa oleifera*) as P2. The research was conducted at Pondok Pesantren Tahfizh Qur'an Wahdah Islamiyah in Banda Aceh using a quantitative experimental method, with each substrate applied separately over an 18-day rearing period, after which the data were analyzed descriptively and quantitatively. The results showed a WRI of 4.663%/day for P1 and 4.645%/day for P2, values that were relatively close between the two treatments. The BCR reached 17.591% for P1, approximately 2.4 times higher than the 7.304% recorded for P2. Meanwhile, the SR was 96.87% for P1 and 95.07% for P2. Overall, the food waste substrate exhibited better bioconversion performance than moringa leaves, particularly in larval biomass formation, while substrate reduction and larval survival were relatively similar between the two treatments. Both substrates demonstrated potential as organic material for BSF bioconversion within a pesantren environment.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Segala puji hanya bagi Allah Swt. yang senantiasa melimpahkan rahmat, perlindungan, serta segala nikmat-Nya, termasuk nikmat keimanan yang teguh dan kesempurnaan dalam menjalankan Islam. Selawat dan salam senantiasa tercurah kepada junjungan kita, Nabi Muhammad saw. sosok yang telah menebarkan cahaya ilmu dan akhlak mulia ke seluruh penjuru alam. Tidak lupa pula, selawat dan salam kami haturkan kepada keluarga beliau, para sahabat, serta para ulama yang meneruskan perjuangan beliau, baik yang telah wafat maupun yang masih membimbing umat hingga saat ini. Syukur *Alhamdulillah*, berkat petunjuk dan pertolongan Allah Swt. penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Biokonversi Sampah Makanan dan Daun Dengan Pemanfaatan Maggot Untuk Sisa Makanan di Pondok Pasantren Tahfizh Al-Quran Wahdah Islamiyah Banda Aceh”.

Kepada Ibunda Almh. Jasinah S.Pd. selaku orang tua yang sudah menjadi sandaran terkuat untuk penulis, semangat, kasih sayang serta doa selalu mereka berikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini, serta saudara kandung saya Yarmiza Anggriani Fitri S.T., M.T. yang penulis sayangi yang sudah memberikan dukungan, saran, doa dan semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Dalam perjalanan penyusunan Tugas Akhir ini, penulis menyadari bahwa setiap pencapaian bukanlah hasil dari usaha sendiri, melainkan berkat doa, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Maka, dengan kerendahan hati dan rasa syukur yang mendalam, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
2. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc., selaku Ketua Program studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Bapak Aulia Rohendi, M.Sc., selaku sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar Raniry Banda Aceh.

4. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing yang telah berkenan memberikan nasihat serta arahan agar Tugas Akhir ini disusun dengan sebaik mungkin.
5. Bapak Ir. Muhammad Haikal, S.T., MSc., selaku dosen penguji 1 dan Ibu Muhammad Ir. Syarifah Seicha Fathma, S.T., M.T., selaku dosen penguji 2 yang telah membantu menguji skripsi ini sehingga skripsi ini dapat dinyatakan layak untuk diluluskan.
6. Kepada semua pengajar dan staf program studi Teknik Lingkungan di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, saya mengucapkan terima kasih atas dukungan dan bantuan administratif yang telah diberikan selama proses pembuatan Tugas Akhir ini.

Penulis memahami bahwa pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis meminta maaf yang sebesar-besarnya atas segala kekurangan tersebut. Penulis sangat berharap bahwa Tugas Akhir ini dapat berguna dan menjadi pedoman serta mempermudah semua pihak yang membaca. Oleh sebab itu, segala masukan dan saran yang konstruktif sangat diharapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga Tugas Akhir ini bisa memberikan kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Banda Aceh 14 Agustus 2026

Penulis

Arivandi Rovianda

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ivi
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ivii
ABSTRAK	ivv
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Sampah	6
2.1.1 Sampah Organik.....	6
2.1.2 Sumber-sumber sampah organik.....	6
2.1.3 Teknik Pengelolaan Sampah Organik	7
2.2 <i>Black Soldier Fly</i> (BSF)	8
2.2.1 Klasifikasi	8
2.2.2 Habitat dan Kondisi Lingkungan	9
2.2.3 Siklus.....	9
2.2.4 Makanan.....	10
2.2.5 Biokonversi Sampah Organik oleh BSF	10

2.3 Sisa Makanan.....	11
2.3.1 Karakteristik Sisa Makanan	11
2.3.2 Sisa Makanan sebagai Substrat BSF	11
2.4 Daun Kelor (<i>Moringa oleifera</i>)	12
2.4.1 Karakteristik Daun Kelor	12
2.4.2 Daun Kelor sebagai Substrat BSF.....	12
2.5 Penelitian Terdahulu	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Rancangan Penelitian	16
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian	16
3.2.1 Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	16
3.2.2 Lokasi Penelitian.....	16
3.3 Kerangka Penelitian.....	18
3.4 Desain Tempat Penelitian	19
3.5 Metode Pengambilan Data.....	20
3.5.1 Data Primer	20
3.5.2 Data Sekunder.....	22
3.6 Alat dan Bahan	22
3.6.1 Alat.....	22
3.6.2 Bahan.....	24
3.7 Metode Pengambilan Sampel	25
3.7.1 Pengambilan Sampel Sisa Makanan	25
3.7.2 Pengambilan Sampel Daun Kelor (<i>Moringa oleifera</i>).....	26
3.7.3 Pengambilan dan Persiapan Larva BSF	26
3.8 Prosedur Penelitian.....	27
3.9 Metodologi Analisis data	30

3.9.1 <i>Waste Reduction Index</i> (WRI).....	31
3.9.2 <i>Bioconversion Rate</i> (BCR).....	31
3.9.3 <i>Survival Rate</i> (SR).....	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1 Kondisi Substrat dan Proses Biokonversi.....	34
4.1.1 Kondisi Awal Substrat Sebelum Pemberian.....	34
4.1.2 Kondisi Substrat Selama Proses Biokonversi	36
4.1.3 Pengurangan Substrat dan <i>Waste Reduction Index</i> (WRI)	41
4.2 <i>Bioconversion Rate</i> (BCR)	43
4.3 Kelangsungan Hidup Larva BSF Selama Proses Biokonversi.....	45
4.3.1 <i>Survival Rate</i> (SR).....	45
4.3.2 Interpretasi Kelangsungan Hidup Larva pada Masing-Masing Substrat.....	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA.....	52
LAMPIRAN	57

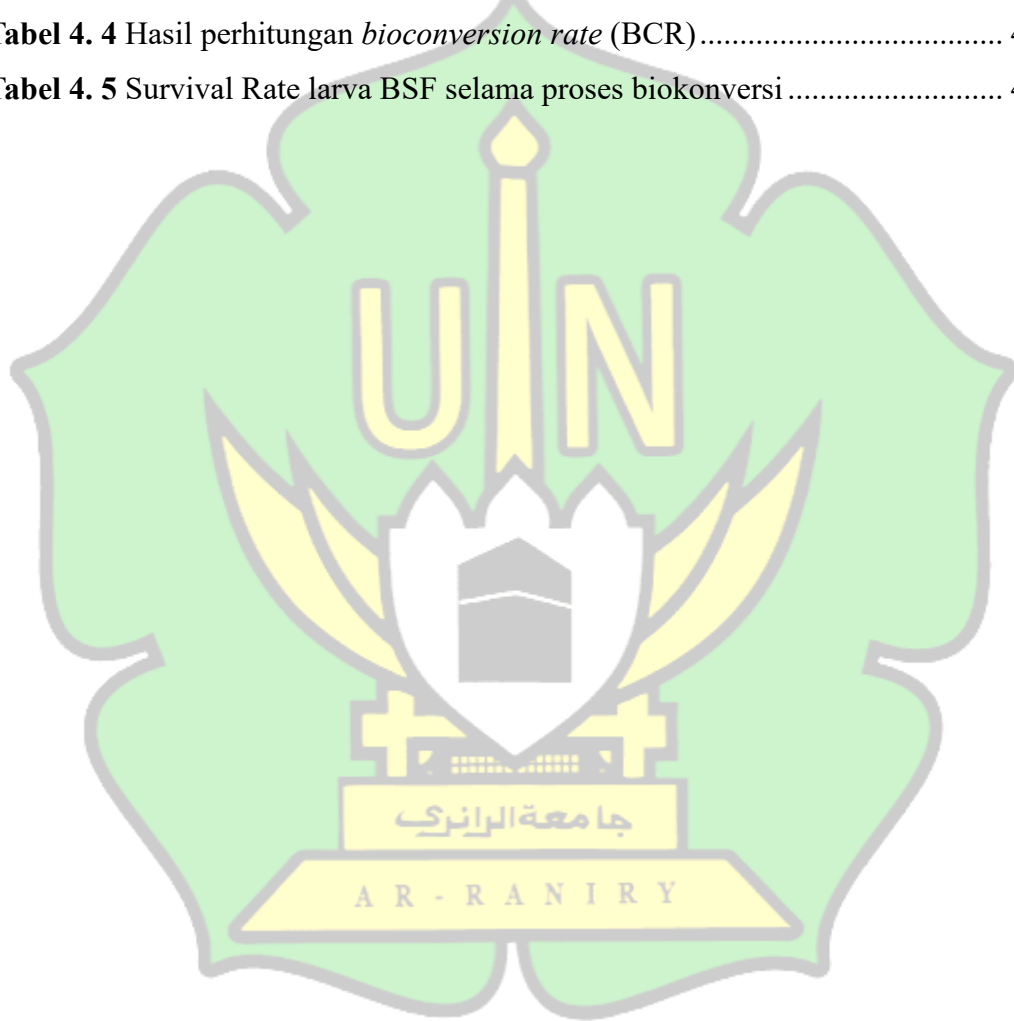
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Siklus black soldier fly BSF (<i>Hermetia Illucens</i>).....	10
Gambar 3. 1 Peta lokasi pengambilan sampel.....	17
Gambar 3. 2 Peta lokasi Penelitian.....	18
Gambar 3. 3 Kerangka Penelitian.....	18
Gambar 3. 4 Desain Tampak Depan	19
Gambar 3. 5 Desain Tampak Depan	19
Gambar 3. 6 Desain Tampak Samping	20
Gambar 3. 7 Desain Tampak Samping	20
Gambar 3. 8 Desain Tampak Atas	20
Gambar 4. 1 Grafik pH substrat P1 dan P2 sebelum diberikan kelarva BSF	35
Gambar 4. 2 Grafik suhu substrat P1 dan P2 sebelum diberikan kelarva BSF ...	35
Gambar 4. 3 Grafik suhu substrat P1 dan P2 selama proses biokonversi	37
Gambar 4. 4 Kondisi visual substrat P1	39



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	13
Tabel 3. 1 Daftar Alat yang digunakan	22
Tabel 3. 2 Daftar Bahan yang digunakan	24
Tabel 4. 1 Kondisi pH dan suhu substrat sebelum diberikan kepada larva BSF ..	34
Tabel 4. 2 Suhu substrat selama proses biokonversi	37
Tabel 4. 3 Hasil perhitungan <i>waste reduction index</i> (WRI)	41
Tabel 4. 4 Hasil perhitungan <i>bioconversion rate</i> (BCR)	43
Tabel 4. 5 Survival Rate larva BSF selama proses biokonversi	47



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah organik merupakan bagian dari timbulan sampah yang berasal dari berbagai aktivitas manusia dan memiliki sifat mudah mengalami penguraian secara biologis. Oleh karena itu, sampah organik memerlukan pengelolaan yang tepat agar tidak menimbulkan permasalahan lingkungan (Damanhuri dan Padmi, 2016; Abdel-Shafy dan Mansour, 2018). Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2023), timbulan sampah nasional pada tahun 2022 tercatat sekitar 18,26 juta ton per tahun. Dari jumlah tersebut, sisa makanan menjadi komponen sampah dengan proporsi terbesar, yaitu sekitar 7,53 juta ton per tahun atau sebesar 41,27% dari total timbulan sampah yang tercatat. Tingginya proporsi tersebut menunjukkan bahwa sisa makanan sebagai bagian dari sampah organik perlu menjadi salah satu fokus dalam upaya pengelolaan sampah di Indonesia. Pertumbuhan jumlah penduduk dan perubahan pola konsumsi masyarakat turut berkontribusi terhadap peningkatan timbulan sampah. Permasalahan tersebut semakin kompleks karena pengelolaan sampah yang belum optimal, di mana hanya sekitar 60% sampah dilaporkan dapat dikelola dengan baik, sedangkan sisanya berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan (Ferronato dan Torretta, 2019).

Sisa makanan merupakan salah satu jenis bahan organik yang dapat terurai secara alami. Namun, apabila tidak dikelola secara tepat, keberadaannya dapat menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan (Kaza dkk., 2018). Pengelolaan sisa makanan yang belum optimal juga berpotensi meningkatkan emisi gas rumah kaca akibat proses penguraian dan pengelolaan limbah, khususnya pada sistem pembuangan yang menghasilkan gas metana (IPCC, 2021). Di samping itu, sistem pengelolaan sampah yang tidak memadai dapat meningkatkan risiko pencemaran lingkungan serta memberikan dampak terhadap kesehatan dan kualitas lingkungan (Ferronato dan Torretta, 2019).

Pengelolaan sampah organik juga menjadi salah satu permasalahan yang dapat dijumpai di lingkungan pondok pesantren. Aktivitas sehari-hari, khususnya

kegiatan konsumsi makanan dan pemeliharaan lingkungan, berpotensi menghasilkan timbulan sampah organik dalam jumlah tertentu (Pramadita dkk., 2021). Pondok Pesantren Tahfizh Qur'an Wahdah Islamiyah Banda Aceh merupakan salah satu lingkungan pendidikan yang menghasilkan sampah organik berupa sisa makanan dan bahan organik yang berasal dari lingkungan pesantren. Berdasarkan pengamatan awal yang dilakukan di lokasi penelitian, sebagian sampah organik tersebut belum dimanfaatkan melalui proses pengolahan yang dapat mengurangi timbulannya. Oleh karena itu, diperlukan alternatif pengolahan yang dapat meningkatkan pemanfaatan sampah organik sekaligus mendukung upaya pengurangan timbulan sampah di lingkungan pesantren.

Salah satu alternatif pengolahan sampah organik yang dapat diterapkan adalah biokonversi menggunakan larva *Black Soldier Fly* (BSF) atau *Hermetia illucens*. Larva BSF memiliki kemampuan untuk memanfaatkan berbagai jenis bahan organik sebagai substrat pertumbuhan dan mengubahnya menjadi biomassa larva serta residu melalui proses biokonversi (Surendra dkk., 2020). Kemampuan tersebut menjadikan larva BSF sebagai salah satu agen biologis yang berpotensi dimanfaatkan dalam pengolahan sampah organik secara berkelanjutan (Rehman dkk., 2023). Keberhasilan proses biokonversi menggunakan larva BSF tidak terlepas dari karakteristik substrat yang diberikan. Jenis dan komposisi substrat dapat memengaruhi pertumbuhan larva, konsumsi bahan organik, serta hasil biokonversi yang diperoleh (Lalander dkk., 2019). Oleh karena itu, perbedaan jenis substrat perlu diperhatikan dalam menilai kinerja larva BSF dalam proses biokonversi sampah organik.

Efektivitas proses biokonversi tidak hanya ditentukan oleh kemampuan larva dalam mengurangi substrat, tetapi juga dapat dilihat dari pembentukan biomassa dan tingkat kelangsungan hidup larva. Perbedaan jenis substrat dapat menghasilkan respons yang berbeda terhadap pertumbuhan larva dan kinerja proses biokonversi BSF (Naser El Deen dkk., 2023). Pengurangan massa substrat selama proses biokonversi juga tidak dapat sepenuhnya diartikan sebagai pembentukan biomassa larva, karena sebagian bahan masih dapat tersisa dalam bentuk residu pada akhir proses (Cheng dkk., 2017). Selain itu, karakteristik substrat, seperti kadar air, komposisi nutrisi, dan sifat fisik bahan, dapat memengaruhi konsumsi substrat,

pertumbuhan dan kelangsungan hidup larva, serta efisiensi proses biokonversi (Lalander dkk., 2019).

Sisa makanan digunakan sebagai salah satu substrat karena merupakan bahan organik yang dihasilkan dari aktivitas konsumsi dan memiliki potensi untuk dimanfaatkan oleh larva BSF. Sebagai substrat pembanding, penelitian ini juga menggunakan daun kelor (*Moringa oleifera*). Pemilihan daun kelor didasarkan pada ketersediaannya di sekitar lokasi penelitian serta penggunaannya untuk mengamati kemampuan larva BSF dalam memanfaatkan bahan organik yang berasal dari tumbuhan. Kedua substrat memiliki karakteristik bahan yang berbeda, sehingga penggunaannya sebagai perlakuan yang terpisah memungkinkan respons larva terhadap masing-masing jenis substrat diamati secara lebih jelas. Perbedaan jenis substrat diketahui dapat menghasilkan respons yang berbeda terhadap pertumbuhan larva dan kinerja biokonversi (Naser El Deen dkk., 2023).

Dalam penelitian ini, sisa makanan digunakan sebagai perlakuan P1, sedangkan daun kelor digunakan sebagai perlakuan P2. Kedua substrat diberikan secara terpisah untuk membandingkan respons larva BSF terhadap masing-masing jenis bahan organik. Kemampuan pengurangan substrat dianalisis menggunakan *waste reduction index* (WRI), biomassa larva akhir relatif terhadap total substrat yang diberikan dianalisis menggunakan *bioconversion rate* (BCR), sedangkan tingkat kelangsungan hidup larva dianalisis menggunakan *survival rate* (SR). Ketiga parameter tersebut digunakan untuk menggambarkan aspek yang berbeda dalam proses biokonversi, yaitu pengurangan substrat, pembentukan biomassa larva, dan kelangsungan hidup larva selama periode pemeliharaan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk membandingkan kinerja larva BSF dalam memanfaatkan sisa makanan dan daun kelor selama proses biokonversi. Perbandingan dilakukan berdasarkan tingkat pengurangan substrat, biomassa larva yang dihasilkan relatif terhadap jumlah substrat yang diberikan, serta tingkat kelangsungan hidup larva selama periode pemeliharaan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi mengenai perbedaan kinerja kedua jenis substrat sebagai bahan organik dalam proses biokonversi menggunakan larva BSF.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana kemampuan larva BSF dalam mengurangi substrat sisa makanan dan daun kelor selama proses biokonversi?
2. Bagaimana kemampuan larva BSF dalam mengonversi substrat sisa makanan dan daun kelor menjadi biomassa larva?
3. Berapa tingkat kelangsungan hidup larva BSF setelah proses biokonversi pada substrat sisa makanan dan daun kelor?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis kemampuan larva BSF dalam mengurangi substrat sisa makanan dan daun kelor selama proses biokonversi berdasarkan nilai *waste reduction index* (WRI).
2. Menganalisis kemampuan larva BSF dalam mengonversi substrat sisa makanan dan daun kelor menjadi biomassa larva berdasarkan nilai *bioconversion rate* (BCR).
3. Menganalisis tingkat kelangsungan hidup larva BSF pada substrat sisa makanan dan daun kelor berdasarkan nilai *survival rate* (SR).

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang diharapkan adalah sebagai berikut:

1. Bagi pengembangan ilmu pengetahuan, memberikan informasi mengenai kemampuan larva BSF dalam memanfaatkan sisa makanan dan daun kelor sebagai substrat biokonversi berdasarkan nilai WRI, BCR, dan SR.
2. Bagi pengelolaan sampah, memberikan informasi mengenai potensi penggunaan larva BSF sebagai salah satu alternatif pengolahan sampah organik, khususnya sisa makanan.
3. Bagi lokasi penelitian, memberikan informasi mengenai kinerja biokonversi larva BSF pada substrat yang tersedia di lingkungan Pondok Pesantren Tahfizh Qur'an Wahdah Islamiyah Banda Aceh.

1.5 Batasan Penelitian

Penulisan Proposal Tugas Akhir ini agar dapat terlaksana dengan baik dan fokus terhadap masalah serta tujuan penelitian, maka penelitian ini perlu dibatasi.

Batasan-batasan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian menggunakan larva *Black Soldier Fly* (BSF) (*Hermetia illucens*) yang telah melalui proses aklimatisasi selama 7 hari sebelum digunakan sebagai agen biokonversi.
2. Substrat yang digunakan terdiri atas dua jenis, yaitu sisa makanan sebagai perlakuan P1 dan daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai perlakuan P2. Kedua jenis substrat diberikan secara terpisah dan tidak dicampurkan.
3. Sisa makanan yang digunakan sebagai substrat penelitian bersumber dari rumah makan yang telah ditetapkan sebagai lokasi pengambilan sampel.
4. Proses pemeliharaan dan pengamatan dilakukan selama 18 hari.
5. Bobot awal larva BSF yang digunakan adalah 15 gram untuk masing-masing perlakuan. Jumlah individu larva pada awal penelitian tidak dihitung secara langsung, sehingga estimasi jumlah larva awal digunakan sebagai dasar perhitungan *Survival Rate* (SR).
6. Parameter yang diamati dalam penelitian meliputi pengurangan substrat, biomassa akhir larva, jumlah kematian larva, suhu substrat, pH substrat, dan produksi frass.
7. Penelitian tidak membahas analisis kandungan kimia secara mendalam terhadap substrat maupun biomassa larva, seperti kandungan protein, lemak, atau profil nutrisi lainnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sampah

Sampah dapat diklasifikasikan berdasarkan sifat dan karakteristiknya menjadi beberapa kelompok, di antaranya sampah organik dan sampah anorganik. Dalam penelitian ini, pembahasan difokuskan pada sampah organik karena bahan tersebut digunakan sebagai substrat dalam proses biokonversi menggunakan larva *black soldier fly* (BSF).

2.1.1 Sampah Organik

Sampah organik merupakan bagian dari sampah yang berasal dari material yang dapat mengalami penguraian secara biologis, seperti sisa pangan, limbah sayuran dan buah-buahan, serta guguran daun dan limbah kegiatan pertamanan (Varjani dkk., 2021). Berdasarkan kondisi dan kandungan airnya, sampah organik dapat dibedakan menjadi sampah organik basah, yang umumnya berupa sisa sayuran dan buah-buahan, serta sampah organik kering, seperti daun dan ranting kering (Mulyono, 2014).

Karakteristik sampah organik yang mudah mengalami penguraian oleh aktivitas mikroorganisme menjadikannya memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali melalui berbagai proses pengolahan, antara lain sebagai bahan baku kompos dan produksi biogas (Kusumaningsari, 2017). Namun, apabila tidak dikelola dengan baik, sampah organik dapat menimbulkan berbagai dampak terhadap lingkungan, seperti pembentukan lindi, timbulnya bau akibat proses pembusukan, serta penurunan kualitas lingkungan di sekitarnya (Kaza dkk., 2018). Selain itu, penguraian sampah organik dalam kondisi anaerob dapat menghasilkan gas metana yang merupakan salah satu gas rumah kaca dan berkontribusi terhadap peningkatan pemanasan global (IPCC, 2021).

2.1.2 Sumber-sumber sampah organik

Sampah organik berasal dari berbagai aktivitas manusia, antara lain rumah tangga, kegiatan perdagangan, pertanian, industri pengolahan makanan, serta institusi atau fasilitas pendidikan. Sumber tersebut menghasilkan berbagai jenis

bahan organik, seperti sisa makanan, residu tanaman, daun, dan bagian tanaman lainnya (Tonini dkk., 2020).

Institusi pendidikan berasrama, termasuk pondok pesantren, merupakan salah satu sumber timbulan sampah organik yang berasal dari berbagai aktivitas sehari-hari, terutama kegiatan konsumsi dan penyelenggaraan makanan. Penelitian Pramadita dkk. (2021) pada Pondok Pesantren Darul Khairat menunjukkan bahwa sampah organik menyumbang sebesar 58,67% dari total timbulan sampah harian, dengan sisa makanan menjadi salah satu komponen utamanya. Temuan tersebut menunjukkan bahwa aktivitas penyediaan dan konsumsi makanan di lingkungan pesantren berpotensi menghasilkan sampah organik secara terus-menerus sehingga diperlukan pengelolaan yang tepat untuk mengurangi timbulan dan potensi dampaknya terhadap lingkungan.

Selain sisa makanan, aktivitas pemeliharaan lingkungan juga menghasilkan bahan organik berupa daun dan residu tanaman yang dapat dimanfaatkan melalui berbagai metode pengolahan, termasuk biokonversi menggunakan larva BSF (Surendra dkk., 2020; Rehman dkk., 2023). Dalam penelitian ini, sumber bahan organik yang digunakan terdiri atas sisa makanan dan bahan organik berbasis daun berupa daun kelor (*Moringa oleifera*) yang diperoleh dari lingkungan Pondok Pesantren Tahfizh Qur'an Wahdah Islamiyah Banda Aceh. Kedua bahan tersebut selanjutnya digunakan sebagai substrat dalam proses biokonversi menggunakan larva BSF.

2.1.3 Teknik Pengelolaan Sampah Organik

Sampah organik dapat dikelola melalui berbagai metode pengolahan, antara lain pengomposan, digesti anaerobik, dan pengolahan biologis lainnya. Metode tersebut bertujuan untuk mengurangi jumlah sampah organik sekaligus memanfaatkan kembali bahan organik yang masih memiliki nilai guna. Pengolahan biologis menjadi salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan karena dapat mengubah bahan organik menjadi produk yang dapat dimanfaatkan kembali (Sugumaran dkk., 2025).

Salah satu pendekatan biologis yang berkembang dalam pengelolaan sampah organik adalah biokonversi menggunakan serangga, khususnya larva black soldier fly (BSF). Larva BSF mampu memanfaatkan berbagai jenis bahan organik sebagai

substrat dan mengonversinya menjadi biomassa larva serta residu yang berpotensi dimanfaatkan lebih lanjut. Pendekatan ini menjadikan BSF sebagai salah satu alternatif dalam pengolahan dan pemulihan sumber daya dari sampah organik (Surendra dkk., 2020; Rehman dkk., 2023). Klasifikasi sampah dapat disusun berdasarkan sejumlah kriteria, seperti sumber pembentukannya, karakteristiknya, serta komposisinya. Berdasarkan sumber, sampah dikelompokkan ke dalam beberapa kategori (Rajendran dkk., 2022).

2.2 *Black Soldier Fly* (BSF)

Black soldier fly (BSF) atau *Hermetia illucens* merupakan spesies serangga dari famili Stratiomyidae yang banyak dikaji dalam pengelolaan sampah organik karena fase larvanya mampu memanfaatkan berbagai bahan organik sebagai substrat. Larva BSF dapat memanfaatkan sisa makanan, limbah pertanian, hasil samping pengolahan pangan, serta berbagai bahan organik lainnya, dan mengubah sebagian bahan tersebut menjadi biomassa larva serta residu (Rehman dkk., 2023).

Kemampuan larva BSF dalam memanfaatkan substrat dapat berbeda bergantung pada jenis bahan organik yang digunakan. Karakteristik substrat, terutama kadar air dan komposisi bahan, dapat memengaruhi pertumbuhan larva serta efisiensi proses biokonversi (Cheng dkk., 2017). Oleh karena itu, jenis dan karakteristik substrat menjadi salah satu faktor penting yang perlu diperhatikan dalam proses pengolahan sampah menggunakan larva BSF (Lalander dkk., 2019).

Dalam penelitian ini, larva BSF digunakan sebagai organisme biokonversi untuk membandingkan pemanfaatan sisa makanan sebagai perlakuan P1 dan daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai perlakuan P2. Perbedaan karakteristik kedua substrat tersebut menjadi dasar untuk mengamati perbedaan pengurangan substrat, biomassa larva, dan kelangsungan hidup larva.

2.2.1 Klasifikasi

Larva BSF atau dalam nama ilmiah yaitu *Hermetia illucens* L. memiliki klasifikasi taksonomi sebagai berikut:

Kingdom	: Animalia
Filum	: Arthropoda
Kelas	: Insecta

Ordo	: Diptera
Famili	: Stratiomyidae
Subfamili	: Hermetiinae
Genus	: <i>Hermetia</i>
Spesies	: <i>Hermetia illucens</i>

2.2.2 Habitat dan Kondisi Lingkungan

Hermetia illucens memiliki persebaran yang luas pada wilayah tropis dan subtropis. Larva BSF dapat berkembang pada berbagai bahan organik yang tersedia di lingkungannya, sehingga spesies ini banyak dimanfaatkan dalam sistem pengolahan limbah organik (Singh dan Kumari, 2019). Pertumbuhan dan perkembangan larva BSF dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, antara lain suhu dan karakteristik substrat. Suhu dan kondisi media yang sesuai diperlukan untuk mendukung aktivitas makan, pertumbuhan, serta kelangsungan hidup larva. Selain kondisi lingkungan, komposisi substrat juga berpengaruh terhadap performa larva selama proses pemeliharaan (Amrul dkk, 2022).

Dalam penelitian ini, kondisi suhu diamati selama periode pemeliharaan sebagai salah satu parameter lingkungan yang dapat memberikan gambaran mengenai kondisi media selama proses biokonversi.

2.2.3 Siklus

BSF mengalami metamorfosis sempurna yang terdiri atas lima tahap perkembangan, yaitu telur, larva, prepupa, pupa, dan imago (Putra dan Ade 2020). Fase larva merupakan tahap yang dimanfaatkan dalam proses pengolahan sampah organik karena pada fase tersebut BSF aktif mengonsumsi dan memanfaatkan bahan organik sebagai sumber nutrisi untuk pertumbuhan. Dalam penelitian ini, fase yang digunakan adalah fase larva, karena kemampuan larva dalam mengonsumsi substrat menjadi dasar pemanfaatan BSF dalam proses biokonversi sampah organik.



Gambar 2. 1 Siklus *black soldier fly* BSF (*Hermetia Illucens*)
Sumber: Dewi dkk 2021

2.2.4 Makanan

Larva BSF memiliki kemampuan memanfaatkan berbagai jenis bahan organik sebagai sumber nutrisi, antara lain sisa makanan, buah-buahan, sayuran, limbah ikan, dan bahan organik lainnya. Perbedaan jenis dan karakteristik substrat dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan larva BSF (Yuwono dan Mentari 2018).

2.2.5 Biokonversi Sampah Organik oleh BSF

Biokonversi merupakan proses pemanfaatan bahan organik sebagai substrat oleh organisme untuk menghasilkan biomassa dan produk bernilai guna. Larva BSF banyak dikaji sebagai agen biokonversi karena mampu memanfaatkan berbagai jenis limbah organik dan mengubahnya menjadi biomassa larva serta produk samping yang berpotensi dimanfaatkan lebih lanjut (Rehman dkk., 2023).

Dalam proses biokonversi, larva BSF menggunakan bahan organik sebagai sumber nutrisi untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangannya. Kemampuan larva BSF dalam mengolah sampah organik dapat berbeda bergantung pada karakteristik substrat yang diberikan. Pemanfaatan BSF dalam pengelolaan sampah organik tidak hanya menghasilkan biomassa larva, tetapi juga mendukung proses pemulihan sumber daya dari bahan organik yang sebelumnya menjadi limbah (Surendra dkk., 2020).

Penelitian mengenai berbagai jenis limbah menunjukkan bahwa jenis substrat dapat memengaruhi pertumbuhan larva, tingkat pengurangan sampah, serta

efisiensi konversi substrat menjadi biomassa. Dengan demikian, perbedaan karakteristik substrat merupakan salah satu aspek penting dalam proses biokonversi BSF (Naser El Deen dkk., 2023).

Dalam penelitian ini, biokonversi dilakukan dengan menggunakan sisa makanan dan daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai substrat yang berbeda. Perbedaan kedua substrat tersebut digunakan untuk membandingkan kemampuan larva BSF dalam mendegradasi substrat dan menghasilkan biomassa larva. Efektivitas proses biokonversi selanjutnya dianalisis berdasarkan parameter yang digunakan dalam penelitian, yaitu *waste reduction index* (WRI), *bioconversion rate* (BCR), dan *survival rate* (SR).

2.3 Sisa Makanan

Sisa makanan merupakan salah satu jenis sampah organik yang berasal dari aktivitas konsumsi dan penyelenggaraan makanan. Sisa makanan umumnya terdiri atas bahan pangan yang tidak dikonsumsi atau tersisa setelah proses penyajian. Karakteristiknya dapat berbeda bergantung pada jenis makanan dan sumbernya, tetapi secara umum memiliki kandungan bahan organik dan kadar air yang relatif tinggi sehingga mudah mengalami proses penguraian (Tonini dkk., 2020).

2.3.1 Karakteristik Sisa Makanan

Karakteristik sisa makanan dipengaruhi oleh komposisi bahan penyusunnya. Sisa makanan umumnya memiliki tekstur yang relatif lunak dan mudah terurai sehingga dapat menyediakan bahan organik yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme maupun organisme pengurai lainnya. Kandungan air dan komposisi nutrisi substrat juga menjadi faktor yang dapat memengaruhi proses penguraian dan pemanfaatannya sebagai substrat larva BSF (Diener dkk., 2011).

2.3.2 Sisa Makanan sebagai Substrat BSF

Sisa makanan dapat dimanfaatkan sebagai substrat dalam proses biokonversi menggunakan larva BSF. Larva BSF mampu memanfaatkan berbagai bahan organik sebagai sumber makanan dan mengubah sebagian substrat menjadi biomassa larva, sedangkan bagian yang tidak terkonversi menjadi residu. Perbedaan karakteristik substrat dapat memengaruhi kemampuan larva dalam mengonsumsi dan mengonversi bahan organik tersebut (Diener dkk., 2011; Surendra dkk., 2020).

Dalam penelitian ini, sisa makanan digunakan sebagai perlakuan P1 dan dibandingkan dengan daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai perlakuan P2 untuk mengetahui perbedaan kemampuan larva BSF dalam mengurangi substrat, menghasilkan biomassa, dan mempertahankan kelangsungan hidup larva.

2.4 Daun Kelor (*Moringa oleifera*)

2.4.1 Karakteristik Daun Kelor

Daun kelor (*Moringa oleifera*) merupakan bagian tanaman yang memiliki kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif sehingga banyak dikaji sebagai bahan pakan alternatif. Daun kelor memiliki kandungan protein yang cukup baik serta asam amino yang mendukung potensinya sebagai sumber bahan pakan. Su dan Chen (2020) menyebutkan bahwa daun *Moringa oleifera* memiliki nilai nutrisi dan nilai biologis protein yang baik sehingga berpotensi digunakan sebagai sumber protein alternatif dalam pakan hewan.

Selain daun, bagian batang juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan dalam bentuk tepung hijauan. Valdivié-Navarro dkk (2019) menyatakan bahwa tepung hijauan *Moringa oleifera* yang terdiri atas daun dan batang memiliki kandungan protein dan asam amino yang baik, meskipun juga memiliki kandungan serat yang relatif tinggi. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa komposisi bagian tanaman dapat memengaruhi nilai nutrisi dan pemanfaatannya sebagai bahan pakan.

Dalam konteks penelitian ini, daun kelor digunakan sebagai substrat berbasis daun yang berasal dari lingkungan Pondok Pesantren Tahfizh Qur'an Wahdah Islamiyah Banda Aceh. Penggunaan daun kelor dipilih karena ketersediaannya di lokasi penelitian dan karakteristiknya sebagai bahan organik nabati yang memiliki kandungan nutrisi serta serat.

2.4.2 Daun Kelor sebagai Substrat BSF

Larva black soldier fly (BSF) memiliki kemampuan memanfaatkan berbagai bahan organik sebagai substrat pertumbuhan. Perbedaan karakteristik substrat, terutama komposisi nutrisi dan kandungan serat, dapat memengaruhi kemampuan larva dalam memanfaatkan substrat serta pertumbuhannya.

Daun kelor memiliki kandungan nutrisi dan serat yang dapat memengaruhi karakteristiknya sebagai bahan organik. Kandungan serat yang relatif tinggi pada bahan berbasis kelor menjadi salah satu karakteristik yang perlu diperhatikan dalam pemanfaatannya sebagai substrat larva BSF (Valdivié-Navarro dkk., 2019). Perbedaan karakteristik tersebut dapat memengaruhi kemampuan larva dalam memanfaatkan dan mendegradasi substrat.

Dalam penelitian ini, daun kelor digunakan sebagai substrat pembanding terhadap sisa makanan untuk mengetahui perbedaan kemampuan larva BSF dalam mengurangi substrat, menghasilkan biomassa, dan mempertahankan kelangsungan hidup selama periode pemeliharaan.

2.5 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu digunakan sebagai dasar untuk mengetahui perkembangan penelitian terkait biokonversi sampah organik menggunakan larva BSF serta mengidentifikasi persamaan dan perbedaan dengan penelitian yang dilakukan. Beberapa penelitian terdahulu yang relevan disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Metode penelitian	Hasil Penelitian
1	Stefan Diener, Christian Zurbrügg, dan Klement Tockner	<i>Conversion of Organic Material by Black Soldier Fly Larvae: Establishing Optimal Feeding Rates</i>	Penelitian eksperimental dengan pemberian pakan pada larva BSF pada tingkat pemberian yang berbeda untuk menentukan tingkat pemberian substrat yang optimal.	Pemberian 100 mg pakan ayam / larva / hari menghasilkan keseimbangan optimal antara pengurangan material dan produksi biomassa. Efisiensi pengurangan material mencapai 41,8%.
2	Moritz Gold, Cecille Marie Cassar, Christian Zurbrügg, Michael Kreuzer, Samy Boulos, Stefan Diener, dan Alexander Mathys	<i>Biowaste Treatment with Black Soldier Fly Larvae: Increasing Performance Through the Formulation of Biowastes Based on Protein and Carbohydrates</i>	Penelitian eksperimental menggunakan beberapa jenis biowaste, antara lain produk samping penggilingan, feses manusia, limbah rumah potong unggas, kotoran sapi, dan limbah kantin. Biowaste dibandingkan secara individual dan dalam formulasi berdasarkan	Formulasi substrat dengan komposisi nutrisi yang lebih beragam dapat meningkatkan performa pengolahan BSFL dan mengurangi variasi hasil. Parameter yang diamati meliputi survival, bioconversion rate, waste reduction, waste conversion

			kandungan protein dan non-fibre carbohydrate (NFC).	efficiency, dan protein conversion efficiency.
3	Daniel Dzepe, Paulin Nana, Hervé Mube Kuitche, Janaina Mitsue Kimpara, Ornela Magatsing, Timoléon Tchuinkam, dan Rousseau Djouaka	<i>Feeding Strategies for Small-Scale Rearing Black Soldier Fly Larvae (Hermetia illucens) as Organic Waste Recycler</i>	Penelitian eksperimental yang menguji strategi pemberian pakan pada pemeliharaan BSF skala kecil sebagai pengolah limbah organik. Parameter mencakup performa larva, konsumsi substrat, biomassa, dan kelangsungan hidup.	Strategi pemberian pakan berpengaruh terhadap performa larva dan efisiensi pengolahan limbah. Penelitian menunjukkan pentingnya pengaturan pemberian substrat dalam pemeliharaan BSF skala kecil.
4	Sri Surya Ningsih, Djoko Mulyo Hartono, dan Astryd Viandila Dahlan	<i>Effect of Black Soldier Fly (Hermetia illucens) Larvae Bioconversion Duration in Processing Household Organic Waste and Market Waste in Jakarta on the Efficiency of the Bioconversion Process</i>	Penelitian menggunakan biopon berisi 2 kg sampah organik dan 11,2 g larva BSF umur 7 DOL. Lama biokonversi dibandingkan pada 7, 12, 14, 17, dan 21 hari.	Waktu optimal biokonversi untuk sampah makanan rumah tangga dan sampah pasar berada pada 12–14 hari, berdasarkan indikator efisiensi konversi dan pengurangan sampah.
5	Lifei Chen, Meng Xu, Rongsheng Shang, Yizhen Xin, Guiying Wang, Yifan Li, Zhuoya Wang, Xiangyu Wang, Haoyang Sun, dan Lusheng Li	<i>Evaluating Different Supplements on the Growth Performance and Bioconversion Efficiency of Kitchen Waste by Black Soldier Fly Larvae</i>	Penelitian eksperimental menggunakan sampah dapur sebagai substrat. Sampah dapur diberi tambahan maize stover atau frass BSF, kemudian dibandingkan dengan kontrol tanpa tambahan.	Penambahan bahan pendukung memengaruhi pertumbuhan dan efisiensi biokonversi. Kelompok perlakuan menunjukkan perbedaan pada pertumbuhan panjang larva, kehilangan bobot bahan kering, dan feed conversion rate.
6	Yu Wang, Jiawei Quan, Xiang Cheng, Chunxing Li, dan Zengwei Yuan	<i>Relationship of Black Soldier Fly Larvae (BSFL) Gut Microbiota and Bioconversion Efficiency with Properties of Substrates</i>	Penelitian eksperimental yang menguji pengaruh ukuran partikel sampah makanan terhadap karakteristik substrat, efisiensi biokonversi, dan mikrobiota usus BSFL.	Ukuran partikel 4–10 mm memberikan performa lebih baik dibandingkan partikel yang sebagian besar berukuran <2 mm. Perlakuan tersebut meningkatkan weight loss rate sampah makanan sebesar 35% dan

				biomassa larva sebesar 38% dibandingkan perlakuan dengan partikel <2 mm.
--	--	--	--	--



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk membandingkan kemampuan larva *black soldier fly* (BSF) dalam melakukan biokonversi terhadap dua jenis substrat organik, yaitu sisa makanan sebagai perlakuan P1 dan daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai perlakuan P2. Penelitian dilakukan dengan memberikan masing-masing jenis substrat kepada larva BSF pada wadah pemeliharaan yang berbeda. Kedua perlakuan diamati selama 18 hari masa pemeliharaan. Pengamatan dilakukan terhadap parameter yang meliputi pengurangan substrat, biomassa akhir larva, jumlah larva yang bertahan hidup, suhu substrat, pH substrat, serta karakteristik residu atau frass yang dihasilkan.

Hasil pengamatan selanjutnya dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk mengetahui perbedaan kemampuan larva BSF dalam mereduksi dan mengonversi masing-masing jenis substrat. Parameter utama yang digunakan dalam analisis meliputi *waste reduction index* (WRI), *bioconversion rate* (BCR), dan *survival rate* (SR).

3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

3.2.1 Waktu Pelaksanaan Penelitian

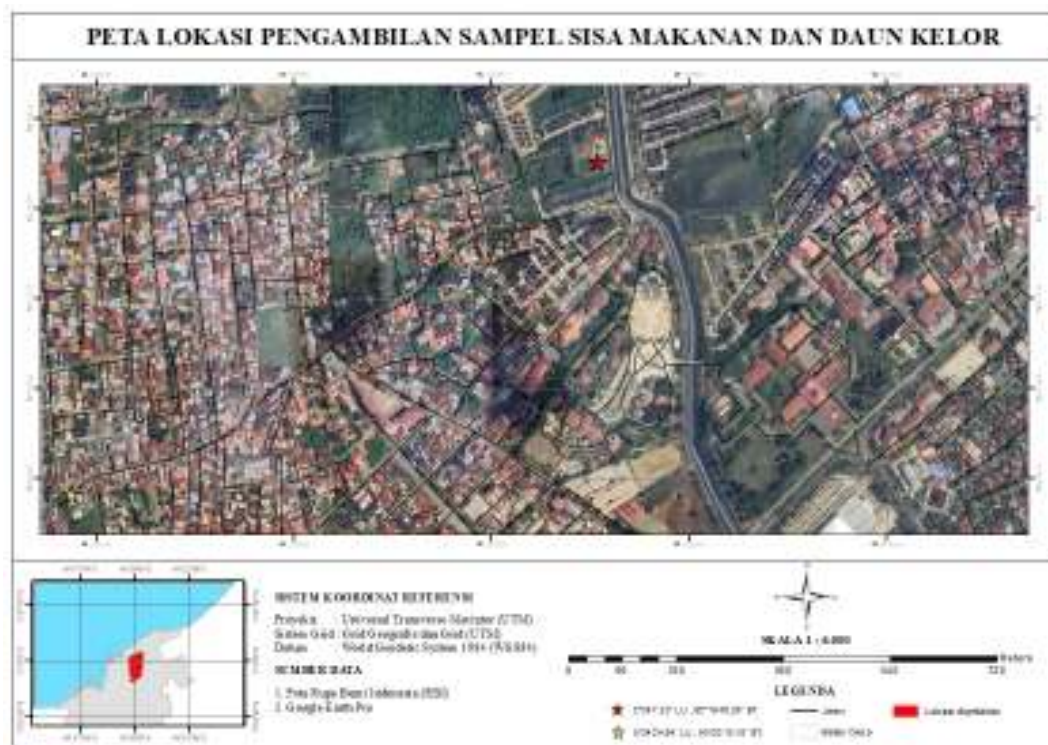
Penelitian ini dilaksanakan selama $\pm 1,5$ bulan, yang dimulai dari 19 Juni 2026 sampai dengan 5 Agustus 2026. Proses penelitian dimulai dari tahap persiapan alat dan bahan, persiapan serta aklimatisasi larva BSF, pelaksanaan proses biokonversi, pengamatan dan pengambilan data, hingga pengolahan dan analisis data untuk memperoleh kesimpulan penelitian.

3.2.2 Lokasi Penelitian

a. Lokasi pengambilan sampel

Sampel sisa makanan yang digunakan sebagai substrat P1 diperoleh dari rumah makan yang telah ditetapkan sebagai sumber sampel penelitian, yang berlokasi di Kota Banda Aceh, Aceh, pada koordinat 5°34'7,20" LU dan 95°19'46,29" BT. Sementara itu, sampel daun kelor (*Moringa oleifera*) yang

digunakan sebagai substrat P2 diperoleh dari tanaman kelor yang terdapat di sekitar Pondok Pesantren Tahfizh Qur'an Wahdah Islamiyah, Kota Banda Aceh, Aceh, pada koordinat $5^{\circ}34'24,84''$ LU dan $95^{\circ}20'15,16''$ BT. Kedua jenis sampel tersebut digunakan sebagai substrat dalam proses biokonversi menggunakan larva BSF. Peta lokasi pengambilan sampel dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Peta lokasi pengambilan sampel

Sumber: Dokumentasi Sendiri

a. Lokasi Penelitian

Penelitian biokonversi sampah organik menggunakan larva *black soldier fly* BSF dilaksanakan di Pondok Pesantren Tahfizh Qur'an Wahdah Islamiyah, Kota Banda Aceh, Aceh. Lokasi tersebut digunakan sebagai tempat pelaksanaan proses biokonversi, pemeliharaan larva, pengamatan, pengukuran parameter penelitian, serta pemanenan hasil biokonversi. Peta lokasi pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2

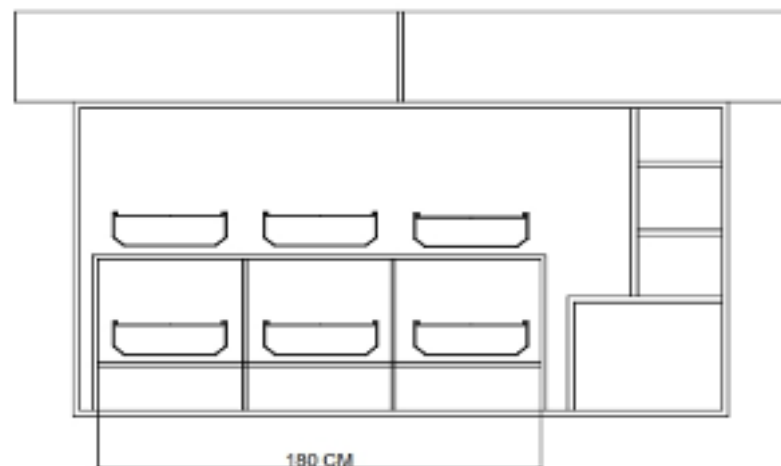
3.4 Desain Tempat Penelitian

Tempat penelitian dirancang sebagai area pemeliharaan larva BSF selama proses biokonversi sisa makanan dan daun kelor. Tempat penelitian dilengkapi dengan rak sebagai tempat peletakan wadah biokonversi untuk memudahkan pemeliharaan, pengamatan, pemberian substrat, dan pemanenan.

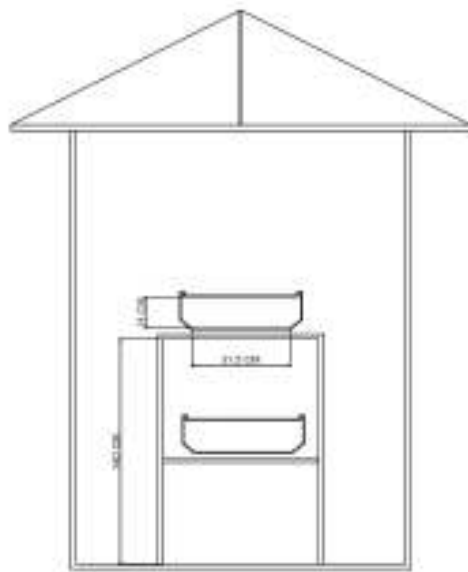
Desain tempat penelitian dibuat dalam beberapa tampilan, yaitu tampak atas, tampak depan, dan tampak samping untuk menunjukkan bentuk, susunan, dan dimensi konstruksi. Desain tempat penelitian disajikan pada Gambar 3.4 sampai dengan Gambar 3.8.



Gambar 3. 4 Desain Tampak Depan



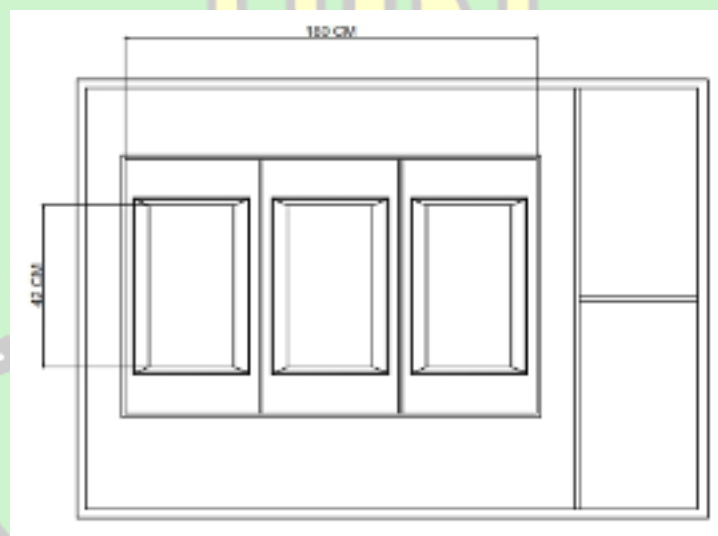
Gambar 3. 5 Desain Tampak Depan



Gambar 3. 6 Desain Tampak Samping



Gambar 3. 7 Desain Tampak Samping



Gambar 3. 8 Desain Tampak Atas

3.5 Metode Pengambilan Data

3.5.1 Data Primer

Data primer diperoleh secara langsung melalui pengamatan dan pengukuran selama proses biokonversi larva BSF pada dua jenis substrat, yaitu P1 (sisa makanan) dan P2 (daun kelor). Pengamatan dilakukan selama 18 hari masa pemeliharaan, dengan pengamatan kondisi larva dan media dilakukan secara berkala serta pencatatan penggunaan substrat dilakukan setiap kali terjadi penambahan substrat. Data primer yang dikumpulkan meliputi:

1. Berat substrat yang diberikan (gram)

Berat substrat dicatat setiap kali substrat diberikan ke dalam wadah pemeliharaan. Jumlah seluruh substrat yang diberikan selama masa penelitian dijumlahkan untuk memperoleh total substrat aktual (W_0). Data tersebut digunakan dalam perhitungan *waste reduction index* (WRI) dan *bioconversion rate* (BCR)

2. Berat sisa substrat (gram)

Sisa substrat yang masih terdapat dalam wadah ditimbang sebelum dilakukan penambahan substrat berikutnya. Berat sisa substrat digunakan untuk mengetahui jumlah substrat yang tidak tereduksi selama proses biokonversi dan menjadi komponen dalam perhitungan *waste reduction index* (WRI).

3. Biomassa akhir larva (gram)

Biomassa larva diukur pada akhir masa pemeliharaan, yaitu hari ke-18. Larva dipisahkan dari sisa substrat dan frass, kemudian ditimbang secara keseluruhan menggunakan timbangan digital. Biomassa akhir larva digunakan dalam perhitungan *bioconversion rate* (BCR).

4. Jumlah larva hidup dan mati (ekor)

Jumlah larva yang mati dicatat selama masa pemeliharaan. Larva yang mati dikeluarkan dari wadah dan dicatat jumlahnya. Pada akhir penelitian, jumlah larva yang masih hidup dihitung untuk memperoleh nilai *survival rate* (SR). Jumlah larva awal pada masing-masing perlakuan digunakan sebagai dasar perhitungan SR.

5. Suhu substrat ($^{\circ}\text{C}$)

Suhu substrat diukur menggunakan termometer probe digital yang dimasukkan ke dalam media substrat. Pengukuran dilakukan selama masa pemeliharaan untuk mengetahui kondisi suhu media yang dapat memengaruhi aktivitas dan pertumbuhan larva BSF.

6. pH substrat

pH substrat diukur menggunakan pH meter selama masa pemeliharaan. Pengukuran dilakukan untuk memantau tingkat keadaan substrat sebelum

diberikan kepada larva selama proses biokonversi dan sebagai parameter pendukung dalam menginterpretasikan kondisi substrat.

7. Berat frass (gram)

Frass ditimbang pada akhir masa pemeliharaan setelah larva dipisahkan dari frass dan sisa substrat. Data berat frass digunakan untuk mengetahui jumlah residu hasil proses biokonversi pada masing-masing perlakuan.

3.5.2 Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari berbagai sumber yang mendukung pelaksanaan dan pembahasan penelitian, meliputi:

1. Data mengenai timbulan dan komposisi sampah organik di lokasi penelitian.
2. Literatur ilmiah yang berkaitan dengan karakteristik sampah organik dan biokonversi menggunakan larva BSF.
3. Literatur mengenai karakteristik dan kandungan nutrisi daun kelor (*Moringa oleifera*) sebagai substrat.
4. Standar atau pedoman yang berkaitan dengan pengelolaan sampah organik dan pemanfaatan hasil biokonversi.
5. Hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan parameter WRI, BCR, dan SR pada proses biokonversi menggunakan larva BSF.

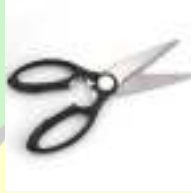
3.6 Alat dan Bahan

3.6.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dipilih berdasarkan kebutuhan pengukuran parameter biokonversi BSF. Daftar alat yang digunakan disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 1 Daftar Alat yang digunakan

No	Alat	Gambar	Jumlah	Fungsi
1	Wadah biokonversi (40×30×15 cm)		2 unit	Tempat pemeliharaan larva BSF dan substrat P1 (sisa makanan) serta P2 (daun kelor) secara terpisah

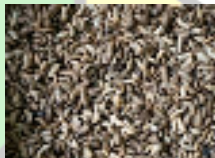
No	Alat	Gambar	Jumlah	Fungsi
2	Timbangan digital (ketelitian 0,01 g)		1 unit	Menimbang substrat, sisa substrat, biomassa larva, dan frass
3	Termometer probe digital		1 unit	Mengukur suhu substrat secara langsung pada kedalaman ± 5 cm
4	pH soil meter		1 unit	Mengukur pH substrat sebelum diberikan untuk proses biokonversi
5	Saringan mesh 5 mm		1 unit	Memisahkan larva dari sisa substrat dan frass pada saat pemanenan
6	Gunting		1 unit	Mencacah substrat menjadi ukuran $\pm 1-2$ cm
7	Nampan plastik		2 unit	Menampung substrat, larva, sisa substrat, dan frass selama proses penelitian

No	Alat	Gambar	Jumlah	Fungsi
8	Jaring kasa		2 buah	Menutup bagian atas wadah untuk mencegah masuknya serangga lain dan menjaga sirkulasi udara
9	Spidol permanen		1 buah	Memberikan identitas pada wadah penelitian

3.6.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas larva *Black Soldier Fly* (BSF), sisa makanan, daun kelor (*Moringa oleifera*), dan bekatul sebagai media aklimatisasi larva. Kedua jenis bahan organik digunakan sebagai substrat penelitian secara terpisah, yaitu sisa makanan sebagai perlakuan P1 dan daun kelor sebagai perlakuan P21.

Tabel 3. 2 Daftar Bahan yang digunakan

No	Bahan	Gambar	Jumlah	Keterangan
1	Larva BSF usia 1 hari + aklimatisasi 7 hari = sekitar 8 hari saat digunakan		15 gram /perlakuan	Agen biokonversi. Larva diperoleh dari peternakan maggot lokal dan terlebih dahulu diaklimatisasi selama 7 hari sebelum digunakan dalam penelitian. Biomassa awal larva yang digunakan sebagai inokulum ditentukan berdasarkan hasil penimbangan aktual setelah aklimatisasi.
2	Sisa makanan (Perlakuan P1)		300 gram awal perlakuan	Substrat organik berupa sisa makanan yang telah dipilah dari bahan anorganik dan digunakan sebagai substrat P1

3	Daun kelor (<i>Moringa oleifera</i>) (Perlakuan P2)		150 gram awal perlakuan	Substrat berupa daun kelor segar yang telah dibersihkan dan dipersiapkan sebelum digunakan sebagai substrat P2.
5	Bekatul		1000 gram	Media pakan selama proses aklimatisasi larva sebelum larva digunakan dalam penelitian.

3.7 Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh bahan organik yang digunakan sebagai substrat biokonversi oleh larva BSF. Bahan yang digunakan terdiri atas sisa makanan sebagai perlakuan P1, daun kelor sebagai perlakuan P2, serta larva BSF sebagai agen biokonversi. Pengambilan dan persiapan bahan dilakukan dengan memperhatikan kondisi awal bahan agar karakteristik substrat yang digunakan tetap sesuai dengan kondisi aktual pada saat penelitian.

3.7.1 Pengambilan Sampel Sisa Makanan

Sampel sisa makanan diperoleh dari rumah makan yang telah ditetapkan sebagai sumber sampel penelitian. Pengambilan sampel dilakukan setelah proses penyajian makanan selesai dengan mengumpulkan sisa makanan yang tersedia pada waktu pengambilan sampel. Sisa makanan yang diperoleh kemudian dipilah secara manual untuk memisahkan bahan organik dari kontaminan anorganik atau benda asing, seperti plastik, logam, dan bahan lain yang tidak digunakan sebagai substrat. Setelah proses pemilahan selesai, sisa makanan ditimbang menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram sesuai dengan kebutuhan penelitian.

Sampel yang telah dipilah selanjutnya digunakan sebagai substrat P1. Sampel tidak dicampurkan dengan bahan yang diperoleh pada waktu pengambilan yang berbeda sehingga karakteristik awal substrat tetap dapat dipertahankan selama proses penelitian. Pemilahan dilakukan untuk menghilangkan bahan anorganik atau benda asing sehingga substrat yang digunakan dalam proses biokonversi hanya terdiri atas fraksi organik yang telah ditetapkan sebagai bahan penelitian.

3.7.2 Pengambilan Sampel Daun Kelor (*Moringa oleifera*)

Sampel daun kelor diperoleh dari tanaman kelor yang terdapat di sekitar Pondok Pesantren Tahfizh Qur'an Wahdah Islamiyah Banda Aceh. Daun yang digunakan dipilih dalam kondisi segar, sehat, tidak menunjukkan gejala penyakit, serta tidak mengalami kerusakan fisik yang dapat memengaruhi kondisi substrat. Daun kelor yang telah dikumpulkan kemudian dipisahkan dari bagian yang tidak digunakan dan dibersihkan dari kotoran yang menempel. Selanjutnya, daun dipersiapkan sebagai substrat P2 melalui proses pelayuan selama 24 jam. Proses pelayuan dilakukan untuk mengurangi kadar air permukaan dan mempersiapkan kondisi fisik bahan sebelum diberikan kepada larva BSF.

Setelah proses persiapan selesai, daun kelor ditimbang menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram sesuai dengan jumlah substrat yang telah ditetapkan dalam penelitian. Daun kelor kemudian dicacah sebelum digunakan sebagai substrat untuk memperkecil ukuran bahan dan memudahkan larva dalam mengakses substrat. Karakteristik bahan pakan merupakan salah satu faktor yang dapat memengaruhi pertumbuhan larva dan efisiensi proses biokonversi BSF. Perbedaan komposisi nutrisi dan karakteristik fisik substrat dapat menghasilkan respons biokonversi yang berbeda (Lalander dkk., 2019).

3.7.3 Pengambilan dan Persiapan Larva BSF

Larva BSF diperoleh dari peternakan maggot lokal. Larva diterima pada usia sekitar satu hari setelah menetas dan kemudian dipelihara selama 7 hari menggunakan bekatul sebagai media pakan untuk proses aklimatisasi. Setelah proses aklimatisasi selesai, larva dipisahkan dari media pemeliharaan dan ditimbang menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram. Biomassa larva yang digunakan sebagai inokulum awal penelitian adalah 15 gram pada masing-masing perlakuan. Penentuan inokulum berdasarkan biomassa dilakukan berdasarkan hasil penimbangan aktual larva sebelum dimasukkan ke dalam wadah penelitian.

Larva yang telah ditimbang kemudian ditempatkan pada substrat sesuai dengan perlakuan yang telah ditetapkan. Larva P1 ditempatkan pada substrat sisa makanan, sedangkan larva P2 ditempatkan pada substrat daun kelor. Kedua substrat

tidak dicampurkan sehingga proses biokonversi berlangsung secara terpisah untuk masing-masing jenis substrat.

3.8 Prosedur Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimental untuk membandingkan kemampuan larva BSF dalam memanfaatkan dua jenis substrat organik, yaitu sisa makanan sebagai perlakuan P1 dan daun kelor sebagai perlakuan P2. Kedua substrat digunakan secara terpisah dan tidak dicampurkan. Penelitian berlangsung selama 18 hari, mulai dari penempatan larva dan substrat pada hari ke-0 hingga pemanenan pada hari ke-18. Prosedur penelitian terdiri atas beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Persiapan Alat dan Bahan

Seluruh alat dan bahan yang diperlukan disiapkan sebelum penelitian dimulai. Wadah biokonversi dibersihkan dan dikeringkan terlebih dahulu untuk mengurangi kemungkinan adanya kontaminasi yang dapat memengaruhi proses pemeliharaan larva. Alat ukur, seperti timbangan digital dengan ketelitian 0,01 g, termometer probe, dan pH soil meter, dipastikan dapat digunakan dengan baik sebelum proses pengukuran dilakukan.

Bahan penelitian berupa larva BSF, sisa makanan, daun kelor, dan bekatul disiapkan sesuai kebutuhan penelitian. Wadah perlakuan diberi tanda P1 untuk sisa makanan dan P2 untuk daun kelor agar proses pengamatan dan pencatatan data dapat dilakukan secara sistematis.

2. Persiapan Substrat

Sisa makanan yang digunakan sebagai substrat P1 diperoleh dari rumah makan sesuai dengan sumber sampel yang telah ditetapkan dalam batasan penelitian. Sisa makanan dipilih secara manual untuk memisahkan bahan organik dari kontaminan yang tidak digunakan sebagai substrat, kemudian ditimbang menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,01 g. Daun kelor yang digunakan sebagai substrat P2 diperoleh dari tanaman kelor di sekitar lokasi penelitian. Daun dipilih dalam kondisi baik dan bebas dari kerusakan atau kontaminan yang dapat mengganggu proses penelitian. Daun kemudian dibersihkan sebelum digunakan sebagai substrat.

Kedua jenis substrat selanjutnya dicacah menjadi ukuran yang lebih kecil menggunakan gunting atau alat pencacah yang telah disiapkan. Pencacahan dilakukan untuk memperkecil ukuran bahan dan meningkatkan luas permukaan substrat sehingga lebih mudah dimanfaatkan oleh larva BSF.

3. Persiapan dan Aklimatisasi Larva BSF

Larva BSF diperoleh dari peternakan maggot lokal. Larva yang diperoleh kemudian dipelihara selama tujuh hari menggunakan bekatul sebagai media pakan aklimatisasi. Proses aklimatisasi dilakukan untuk memberikan kesempatan kepada larva beradaptasi terhadap kondisi pemeliharaan sebelum digunakan dalam penelitian. Setelah proses aklimatisasi selama tujuh hari selesai, larva dipisahkan dari media aklimatisasi dan ditimbang secara keseluruhan menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,01 g. Berdasarkan kondisi aktual pada penelitian, larva yang digunakan sebagai bahan percobaan pertama memiliki massa 15 gram.

Massa 15 gram tersebut kemudian digunakan sebagai dasar jumlah larva yang dimasukkan ke dalam masing-masing perlakuan. Jumlah individu larva tidak ditetapkan berdasarkan asumsi jumlah ekor tertentu karena penelitian tidak memiliki data penghitungan individu larva setelah proses aklimatisasi. Dengan demikian, jumlah larva dinyatakan berdasarkan massa awal larva yang digunakan, yaitu 15 gram.

4. Penempatan Larva dan Substrat

Wadah biokonversi yang telah disiapkan digunakan untuk menempatkan substrat dan larva BSF. Substrat P1 berupa sisa makanan ditempatkan pada wadah yang telah diberi kode P1, sedangkan daun kelor ditempatkan pada wadah dengan kode P2. Kedua substrat tidak dicampurkan. Setelah substrat ditempatkan, larva BSF hasil aklimatisasi dimasukkan ke dalam masing-masing wadah perlakuan. Massa larva yang digunakan dicatat sebagai massa awal larva pada masing-masing perlakuan.

Penempatan larva dan substrat dilakukan pada waktu yang sama dan ditetapkan sebagai hari ke-0 penelitian. Bagian atas wadah ditutup menggunakan jaring kasa untuk mencegah masuknya serangga lain serta tetap memungkinkan sirkulasi udara.

5. Pemberian Substrat secara Bertahap

Selama masa pemeliharaan, substrat diberikan secara bertahap (batch feeding) sesuai dengan kondisi dan kebutuhan larva. Substrat tidak diberikan seluruhnya sekaligus pada awal penelitian. Jumlah substrat yang diberikan pada setiap penambahan ditimbang terlebih dahulu menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,01 g dan dicatat pada lembar pengamatan. Penambahan substrat dilakukan berdasarkan kondisi substrat yang terdapat di dalam wadah. Apabila substrat yang tersedia telah berkurang dan diperkirakan tidak mencukupi kebutuhan larva, maka dilakukan penambahan substrat baru.

Setiap penambahan dicatat berdasarkan jenis substrat, waktu pemberian, dan massa substrat yang ditambahkan. Seluruh massa substrat yang diberikan selama 18 hari kemudian dijumlahkan untuk memperoleh total substrat aktual yang digunakan dalam penelitian. Pemberian substrat P1 dan P2 dilakukan secara terpisah sehingga karakteristik masing-masing substrat tetap dapat dibandingkan dalam proses biokonversi.

6. Pemeliharaan dan Pengamatan

Pemeliharaan larva dilakukan selama 18 hari sejak hari ke-0 sampai dengan hari ke-18. Selama periode tersebut dilakukan pemantauan terhadap kondisi larva dan substrat. Suhu substrat dipantau secara rutin menggunakan termometer probe digital. Pengukuran dilakukan dengan memasukkan probe ke dalam substrat pada kedalaman yang relatif sama, yaitu sekitar 5 cm, sehingga perubahan suhu media dapat dipantau selama proses biokonversi.

Pengukuran pH substrat dilakukan menggunakan pH soil meter. Pengukuran dilakukan secara berkala selama penelitian untuk mengetahui perubahan kondisi pH pada masing-masing substrat. Jumlah larva yang mati dicatat selama proses pengamatan. Larva yang ditemukan mati dikeluarkan dari wadah dan dicatat jumlahnya. Data kematian tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan jumlah larva yang bertahan hidup sampai akhir penelitian. Selain parameter tersebut, kondisi fisik substrat dan aktivitas larva juga diamati untuk mengetahui perubahan yang terjadi selama proses biokonversi.

7. Penimbangan Sisa Substrat

Sebelum dilakukan penambahan substrat baru, sisa substrat yang masih terdapat di dalam wadah ditimbang menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,01 g. Penimbangan dilakukan untuk memperoleh massa residu yang tersisa setelah proses konsumsi dan biokonversi oleh larva. Data massa substrat yang diberikan dan massa residu yang tersisa kemudian digunakan untuk mengetahui tingkat pengurangan substrat selama penelitian. Data tersebut menjadi dasar dalam perhitungan *waste reduction index* (WRI).

8. Pemanenan Larva dan Pemisahan Hasil Biokonversi

Pemanenan dilakukan pada hari ke-18. Seluruh material yang terdapat di dalam wadah dikeluarkan dan dipisahkan menjadi larva, sisa substrat, dan frass. Larva dipisahkan dari substrat dan frass menggunakan saringan mesh 5 mm. Larva yang telah terpisah kemudian dibersihkan dari material substrat yang masih menempel dan ditimbang menggunakan timbangan dengan ketelitian 0,01 g untuk memperoleh biomassa akhir larva.

Jumlah larva yang masih hidup pada akhir penelitian dicatat sebagai dasar penentuan Survival Rate (SR). Sementara itu, sisa substrat dan frass dipisahkan dan ditimbang untuk memperoleh massa residu dan massa frass pada masing-masing perlakuan.

9. Pencatatan dan Rekapitulasi Data

Seluruh hasil pengamatan selama penelitian dicatat dalam lembar pengamatan. Data yang dicatat meliputi massa substrat yang diberikan, massa sisa substrat, massa awal larva, biomassa akhir larva, jumlah larva mati, jumlah larva hidup, suhu substrat, pH substrat, dan massa frass. Data massa substrat yang diberikan dan residu digunakan dalam perhitungan *waste reduction index* (WRI). Data biomassa larva dan total substrat yang diberikan digunakan dalam perhitungan *bioconversion rate* (BCR), sedangkan data jumlah larva yang bertahan hidup digunakan dalam perhitungan *survival rate* (SR).

3.9 Metodologi Analisis data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini dianalisis secara deskriptif kuantitatif menggunakan tiga parameter utama yang disesuaikan dengan masing-

masing rumusan masalah, yaitu *Waste Reduction Index* (WRI), *Bioconversion Rate* (BCR), dan *Survival Rate* (SR).

3.9.1 *Waste Reduction Index* (WRI)

Waste Reduction Index (WRI) digunakan untuk menjawab rumusan masalah pertama, yaitu kemampuan larva BSF (*Hermetia illucens*) dalam mengonsumsi pakan/substrat selama masa pemeliharaan. WR menggambarkan persentase total substrat yang berhasil tereduksi, dihitung menggunakan rumus berikut (Diener dkk., 2009):

$$D = \frac{W - R}{W}$$

$$WRI = \frac{D}{t} \times 100$$

Keterangan

WRI : *Waste Reduction Index* (% per hari)

W : Total berat substrat (g)

R : Berat residu setelah proses biokonversi (g)

D : Proporsi pengurangan substrat

t : Lama proses biokonversi (hari)

Semakin tinggi nilai WRI, semakin efisien larva BSF dalam menguraikan limbah organik (Diener dkk., 2009).

3.9.2 *Bioconversion Rate* (BCR)

Bioconversion Rate (BCR) digunakan untuk menjawab rumusan masalah kedua, yaitu pengaruh biokonversi sampah organik terhadap penambahan berat badan larva BSF. BCR menggambarkan seberapa efisien substrat yang dikonsumsi dikonversi menjadi biomassa larva, dihitung menggunakan rumus berikut (Chen dkk., 2024):

$$BCR = \frac{\text{total biomassa larva (g)}}{\text{total berat substrat yang diberikan (g)}} \times 100\%$$

Nilai BCR yang tinggi menunjukkan bahwa larva mampu mengonversi substrat secara efisien menjadi biomassa tubuhnya (Chen dkk., 2024).

3.9.3 *Survival Rate (SR)*

Survival Rate (SR) digunakan untuk mengetahui tingkat kelangsungan hidup larva BSF selama proses biokonversi pada substrat sisa makanan (P1) dan daun kelor (P2). Larva BSF yang digunakan pada masing-masing perlakuan memiliki bobot awal sebesar 15 gram. Jumlah individu larva pada awal penelitian tidak dihitung secara langsung, sehingga jumlah larva awal diestimasi berdasarkan bobot rata-rata individu larva BSF umur 7 hari. Hoc et al. (2020) melaporkan bobot rata-rata larva BSF umur 7 hari sebesar $0,010 \pm 0,002$ gram per ekor. Dalam penelitian ini, nilai 0,010 gram per ekor digunakan sebagai nilai tengah untuk mengestimasi jumlah larva awal.

Estimasi jumlah larva awal dihitung dengan membagi bobot total larva yang digunakan dengan bobot rata-rata individu larva berdasarkan literatur menggunakan persamaan berikut:

$$N_0 = \frac{W_0}{u}$$

Keterangan

N_0 : Estimasi jumlah larva awal (ekor)

W_0 : Bobot total larva awal (g)

u : Bobot rata-rata individu larva berdasarkan literatur (g/ekor)

Dengan bobot awal larva sebesar 15 gram dan bobot rata-rata individu sebesar 0,010 gram per ekor, maka estimasi jumlah larva awal dihitung sebagai berikut:

$$N_0 = \frac{15}{0,010} = 1.500 \text{ ekor}$$

Selama masa pemeliharaan, larva yang ditemukan mati dihitung dan dicatat pada setiap waktu pengamatan. Larva yang telah mati dikeluarkan dari wadah sehingga tidak dihitung kembali pada pengamatan berikutnya. Seluruh jumlah

kematian pada setiap waktu pengamatan kemudian dijumlahkan secara kumulatif hingga akhir masa pemeliharaan.

Estimasi jumlah larva yang masih hidup pada akhir penelitian dihitung berdasarkan selisih antara estimasi jumlah larva awal dan total kematian kumulatif menggunakan persamaan:

$$N_t = N_0 - N_d$$

Keterangan

N_t : Estimasi jumlah larva hidup pada akhir penelitian (ekor)

N_0 : Estimasi jumlah larva awal (ekor)

N_d : jumlah total larva mati selama penelitian (ekor)

Selanjutnya, nilai Survival Rate (SR) dihitung menggunakan rumus berikut (Dzepe, dkk, 2021).

$$SR = \frac{N_t}{N_0} \times 100\%$$

Keterangan

N_t : Estimasi jumlah larva yang masih hidup pada hari ke-18 (ekor)

N_0 : Estimasi jumlah larva yang ditebar pada awal percobaan, hari ke-0 (ekor)

Nilai SR yang tinggi menunjukkan bahwa kondisi substrat dan lingkungan pemeliharaan mendukung kelangsungan hidup larva BSF secara optimal (Dzepe, dkk, 2021).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

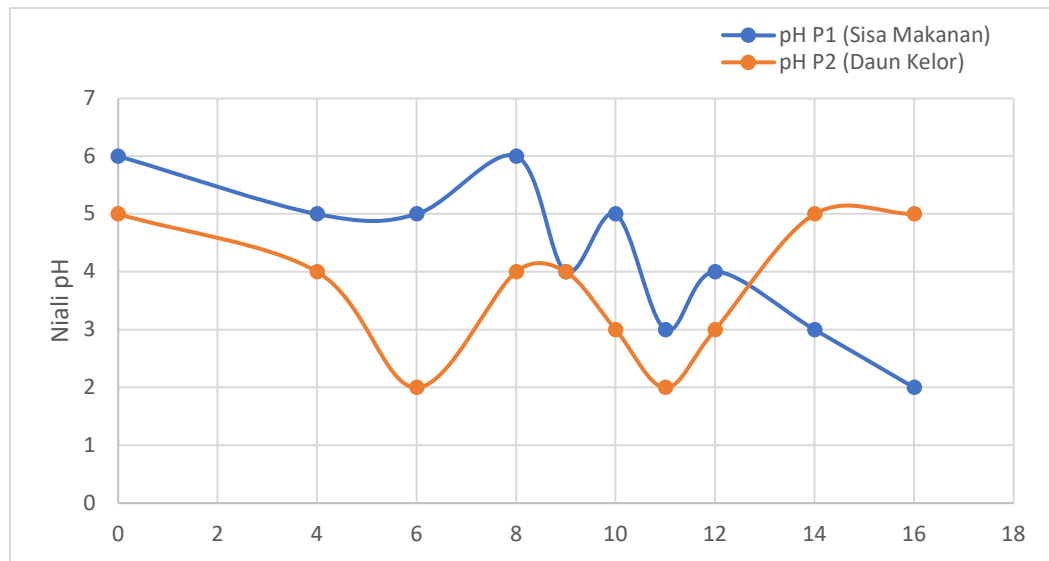
4.1 Kondisi Substrat dan Proses Biokonversi

4.1.1 Kondisi Awal Substrat Sebelum Pemberian

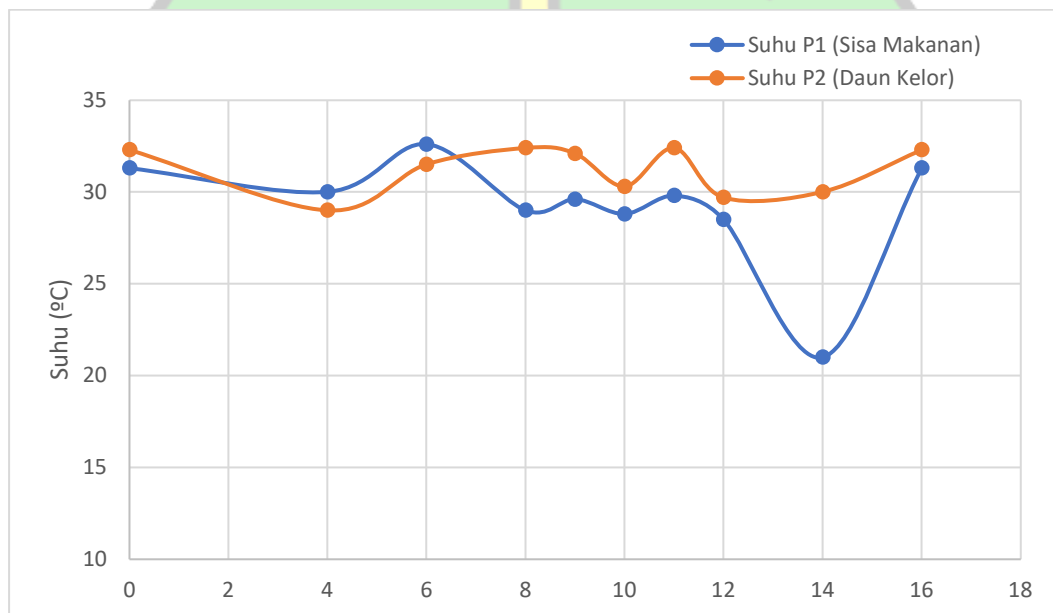
Penelitian ini menggunakan dua jenis substrat organik, yaitu sisa makanan sebagai perlakuan P1 dan daun kelor sebagai perlakuan P2. Sebelum diberikan kepada larva BSF, masing-masing substrat terlebih dahulu diukur pH dan suhunya untuk mengetahui kondisi substrat pada saat pemberian. Pengukuran dilakukan sebelum setiap pemberian substrat selama periode pemeliharaan. Dalam penelitian ini, data pH dan suhu digunakan untuk menggambarkan kondisi substrat pada setiap waktu pemberian serta sebagai data pendukung dalam menginterpretasikan proses biokonversi. Siddiqui et al. (2025) menjelaskan bahwa jenis limbah organik, suhu, kelembapan, dan kepadatan larva merupakan beberapa faktor yang dapat memengaruhi proses biokonversi dan hasil akhir pengolahan menggunakan larva BSF.

Tabel 4. 1 Kondisi pH dan suhu substrat sebelum diberikan kepada larva BSF

Hari	pH P1	pH P2	Suhu P1 (°C)	Suhu P2 (°C)
0	6	5	31,3	32,3
4	5	4	30,0	29,0
6	5	2	32,6	31,5
8	6	4	29,0	32,4
9	4	4	29,6	32,1
10	5	3	28,8	30,3
11	3	2	29,8	32,4
12	4	3	28,5	29,7
14	3	5	21,0	30,0
16	2	5	31,3	32,3



Gambar 4. 1 Grafik pH substrat P1 dan P2 sebelum diberikan kepada larva BSF



Gambar 4. 2 Grafik suhu substrat P1 dan P2 sebelum diberikan kepada larva BSF

Berdasarkan Tabel 4.1, nilai pH substrat P1 sebelum pemberian berkisar antara 2–6, sedangkan pada P2 berkisar antara 2–5. Pada awal penelitian, nilai pH P1 tercatat sebesar 6, sementara P2 sebesar 5. Pada waktu pemberian berikutnya, nilai pH pada kedua perlakuan mengalami perubahan dan tidak menunjukkan nilai yang tetap. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa karakteristik pH substrat berbeda pada setiap waktu pemberian. Perbedaan nilai pH yang diperoleh dapat berkaitan dengan karakteristik masing-masing bahan serta kondisi substrat sebelum diberikan kepada larva BSF. Sisa makanan dan daun kelor memiliki karakteristik bahan

organik yang berbeda sehingga kondisi awal substrat pada setiap pemberian tidak selalu sama. Namun, penelitian ini tidak melakukan analisis terhadap faktor-faktor yang secara khusus menyebabkan perubahan pH, sehingga perubahan tersebut tidak dapat dikaitkan dengan satu faktor tertentu.

Pada parameter suhu, substrat P1 sebelum diberikan memiliki kisaran suhu 21,0–32,6°C, sedangkan P2 memiliki kisaran 29,0–32,4°C. Sebagian besar hasil pengukuran suhu pada kedua perlakuan berada pada kisaran yang masih mendukung pemeliharaan dan perkembangan larva BSF berdasarkan penelitian terdahulu. Namun, pada P1 terdapat pengukuran suhu sebesar 21,0°C pada hari ke-14, sedangkan beberapa pengukuran pada kedua perlakuan menunjukkan suhu di atas 30°C. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa suhu substrat mengalami variasi pada setiap waktu pemberian. Dalam penelitian ini, suhu digunakan sebagai parameter pendukung untuk menggambarkan kondisi substrat sebelum diberikan kepada larva selama periode pemeliharaan, bukan sebagai variabel yang secara khusus diuji pengaruhnya terhadap WRI, BCR, maupun SR. Penelitian mengenai pengaruh suhu terhadap larva BSF menunjukkan bahwa suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan larva. Shumo et al. (2019) juga menunjukkan bahwa kondisi lingkungan, termasuk suhu substrat, perlu diperhatikan dalam proses pengolahan limbah menggunakan larva BSF.

Pada P1 terdapat suhu terendah sebesar 21,0°C pada hari ke-14, sedangkan pengukuran lainnya berada pada kisaran 28,5–32,6°C. Nilai tersebut menunjukkan adanya fluktuasi kondisi suhu substrat sebelum pemberian. Dalam penelitian ini, data suhu dan pH digunakan sebagai data pendukung untuk menggambarkan kondisi substrat, sehingga tidak digunakan untuk menyatakan hubungan sebab-akibat terhadap nilai WRI, BCR, maupun SR.

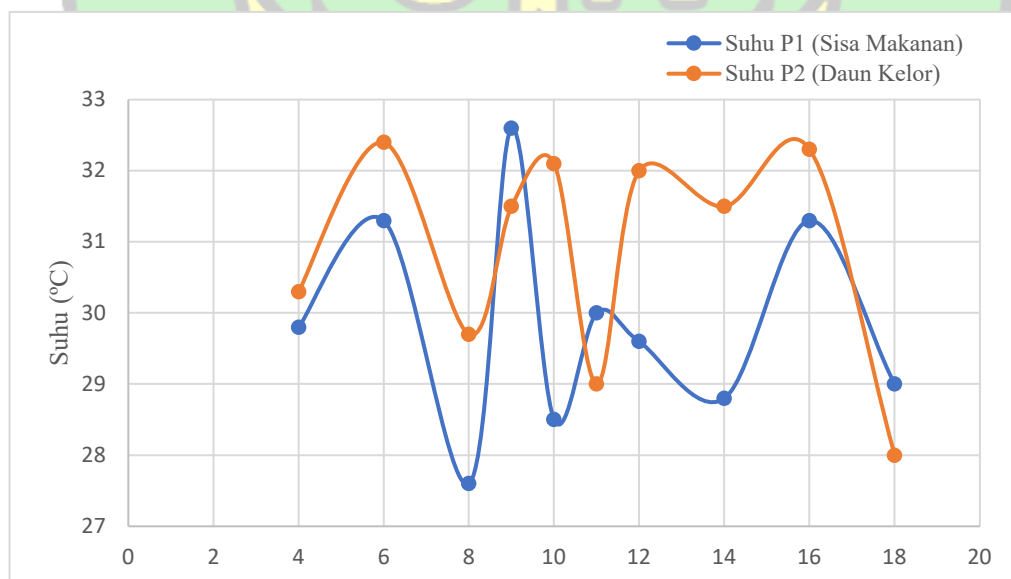
4.1.2 Kondisi Substrat Selama Proses Biokonversi

Selama proses biokonversi, kondisi substrat diamati sebelum pemberian substrat berikutnya dan sebelum dilakukan pemindahan sisa substrat. Pada tahap ini, pengukuran dilakukan terhadap suhu substrat untuk menggambarkan kondisi substrat setelah mengalami proses biokonversi oleh larva BSF. Berbeda dengan pengukuran pada kondisi awal yang dilakukan sebelum substrat diberikan kepada

larva, pengamatan pada tahap ini menggambarkan kondisi substrat selama proses biokonversi sebelum dilakukan penambahan substrat berikutnya.

Tabel 4. 2 Suhu substrat selama proses biokonversi

Hari	Suhu P1 (°C)	Suhu P2 (°C)
0	-	-
4	29,8	30,3
6	31,3	32,4
8	27,6	29,7
9	32,6	31,5
10	28,5	32,1
11	30,0	29,0
12	29,6	32,0
14	28,8	31,5
16	31,3	32,5
18	29	28



Gambar 4. 3 Grafik suhu substrat P1 dan P2 selama proses biokonversi

Berdasarkan Tabel 4.2, suhu substrat selama proses biokonversi pada perlakuan P1 berkisar antara 27,6–32,6°C, sedangkan pada perlakuan P2 berkisar antara 29,0–32,4°C. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa suhu pada kedua perlakuan mengalami fluktuasi selama masa pemeliharaan. Pada P1, suhu tertinggi sebesar 32,6°C tercatat pada hari ke-9, sedangkan suhu terendah sebesar 27,6°C

tercatat pada hari ke-8. Pada P2, suhu tertinggi sebesar 32,4°C tercatat pada hari ke-6, sedangkan suhu terendah sebesar 29,0°C tercatat pada hari ke-11. Perbedaan nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi suhu substrat tidak berlangsung secara konstan selama proses biokonversi.

Fluktuasi suhu yang tercatat selama pengamatan menunjukkan adanya dinamika kondisi lingkungan pada substrat sepanjang proses pemeliharaan. Secara teoritis, perubahan tersebut dapat berhubungan dengan kondisi bahan organik serta aktivitas biologis yang berlangsung di dalam substrat. Namun, karena aktivitas biologis dan sumber perubahan suhu tidak diamati secara langsung, hubungan tersebut belum dapat dipastikan berdasarkan hasil penelitian ini. Selama proses biokonversi, substrat organik mengalami perubahan sebagai akibat dari pemanfaatannya oleh larva BSF dan mikroorganisme yang terdapat di dalamnya. Aktivitas tersebut dapat memengaruhi kondisi lingkungan substrat, termasuk suhu. Dengan demikian, variasi suhu yang diperoleh dapat digunakan untuk menggambarkan dinamika kondisi substrat selama berlangsungnya proses biokonversi.

Suhu merupakan salah satu faktor lingkungan yang berkaitan dengan perkembangan larva BSF. Tomberlin et al. (2009) menunjukkan bahwa suhu pemeliharaan berhubungan dengan perkembangan dan kelangsungan hidup larva BSF, sementara suhu yang terlalu tinggi dapat memberikan dampak negatif terhadap perkembangan larva. Chia et al. (2018) juga melaporkan bahwa kisaran suhu sekitar 25–30°C mendukung perkembangan larva BSF pada kondisi pemeliharaan tertentu. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, sebagian besar suhu substrat yang diperoleh dalam penelitian ini berada pada kisaran yang mendekati kondisi yang dilaporkan mendukung perkembangan larva BSF, meskipun pada beberapa waktu pengamatan suhu tercatat lebih dari 30°C. Dengan demikian, hasil pengamatan menunjukkan bahwa suhu substrat mengalami fluktuasi selama proses biokonversi dan tidak berada pada kondisi yang konstan.

Selain pengukuran suhu, perubahan kondisi fisik substrat selama proses biokonversi juga diamati secara visual. Pengamatan dilakukan untuk mencatat perubahan karakteristik substrat yang dapat diamati secara langsung selama berada dalam media pemeliharaan larva. Pada perlakuan P1, substrat yang diberikan pada

tanggal 17 Juli mengalami perubahan pada pengamatan tanggal 19 Juli. Tekstur substrat menjadi lebih cair dan menghasilkan bau yang lebih menyengat dibandingkan kondisi sebelumnya. Secara visual, bahan organik tampak mengalami pelunakan dan pencairan.

Pada pengamatan tanggal 21 Juli, substrat P1 masih berada dalam kondisi relatif cair, tetapi teksturnya mulai tampak sedikit lebih kering dibandingkan pengamatan sebelumnya. Pada pengamatan berikutnya, sisa substrat menjadi lebih padat dan membentuk residu. Residu tersebut kemudian dipisahkan dari media pemeliharaan dan ditimbang untuk menentukan massa sisa substrat yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan pengurangan substrat.

(a) 19 Juli – kondisi cair



(b) 21 Juli -mulai mengering



Gambar 4. 4 Kondisi visual substrat P1 selama proses biokonversi: (a) tanggal 19 Juli (tekstur cair, bau menyengat), (b) tanggal 21 Juli (mulai mengering)

Perubahan tekstur yang diamati menunjukkan adanya dinamika kondisi fisik bahan organik selama proses biokonversi. Substrat yang pada awalnya memiliki konsistensi tertentu mengalami pelunakan dan pencairan, kemudian secara bertahap menjadi lebih kering dan membentuk residu. Perubahan tersebut dapat berkaitan dengan perubahan kadar air, struktur bahan, dan proses degradasi bahan organik selama pemeliharaan larva. Namun, kadar air dan perubahan komposisi kimia substrat tidak diukur pada setiap waktu pengamatan, sehingga faktor yang secara langsung menyebabkan perubahan tekstur tidak dapat ditentukan secara kuantitatif.

Oleh karena itu, perubahan yang diamati dalam penelitian ini digunakan sebagai gambaran kondisi fisik substrat berdasarkan hasil pengamatan visual.

Perubahan bau juga diamati selama proses biokonversi, terutama pada substrat P1. Pada pengamatan tanggal 19 Juli, substrat menghasilkan bau yang lebih menyengat dibandingkan kondisi sebelumnya. Perubahan bau pada bahan organik selama proses penguraian dapat berkaitan dengan perubahan komposisi bahan dan aktivitas mikroorganisme yang berlangsung di dalam substrat. Gold et al. (2018) menjelaskan bahwa proses pengolahan biowaste menggunakan larva BSF berlangsung melalui interaksi antara aktivitas larva dan mikroorganisme yang terdapat pada substrat. Mikroorganisme berperan dalam proses degradasi bahan organik dan dapat mengalami perubahan komunitas selama proses biokonversi.

Hal tersebut sejalan dengan penelitian Kokubo et al. (2023) yang menunjukkan bahwa dekomposisi *food waste* menggunakan larva BSF disertai perubahan pada komunitas mikroorganisme dan senyawa volatil dalam substrat. Perubahan komponen tersebut dapat berkaitan dengan perubahan karakteristik bau selama proses penguraian. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, perubahan bau yang diamati pada substrat P1 dapat dipandang sebagai salah satu indikasi adanya perubahan kondisi bahan organik selama proses biokonversi. Namun, karena penelitian ini tidak melakukan analisis mikrobiologi maupun identifikasi senyawa penyebab bau, perubahan tersebut tidak dapat dikaitkan secara langsung dengan mikroorganisme atau senyawa tertentu. Oleh karena itu, interpretasi mengenai perubahan bau dalam penelitian ini didasarkan pada hasil pengamatan visual dan penelitian terdahulu, bukan pada hasil pengukuran secara langsung.

Secara keseluruhan, hasil pengamatan menunjukkan bahwa substrat mengalami perubahan selama proses biokonversi, baik dari aspek suhu maupun kondisi fisiknya. Suhu substrat pada P1 dan P2 mengalami fluktuasi selama masa pemeliharaan, sedangkan secara visual substrat P1 mengalami perubahan tekstur dari kondisi yang lebih cair menuju kondisi yang lebih kering dan akhirnya membentuk residu. Perubahan tersebut menunjukkan adanya dinamika bahan organik selama proses pemeliharaan larva BSF yang dapat berkaitan dengan aktivitas larva dan mikroorganisme di dalam substrat.

Residu yang terbentuk pada akhir proses menunjukkan adanya bagian substrat yang masih tersisa setelah proses biokonversi. Massa residu tersebut kemudian dibandingkan dengan jumlah substrat yang diberikan selama masa pemeliharaan untuk mengetahui besarnya pengurangan substrat. Kemampuan sistem dalam mengurangi substrat selanjutnya dianalisis menggunakan *waste reduction index* (WRI).

4.1.3 Pengurangan Substrat dan *Waste Reduction Index* (WRI)

Pengurangan substrat merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengetahui kemampuan larva BSF dalam mengurangi substrat selama proses biokonversi. Jumlah substrat yang berkurang ditentukan berdasarkan selisih antara total substrat yang diberikan dengan berat residu yang diperoleh pada akhir proses. Tingkat pengurangan substrat selanjutnya dinyatakan menggunakan *waste reduction index* (WRI), yang menggambarkan kemampuan larva dalam mengurangi substrat dengan mempertimbangkan jumlah substrat yang diberikan dan lama proses biokonversi. Hasil perhitungan nilai WRI pada kedua perlakuan selama masa pemeliharaan disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil perhitungan *waste reduction index* (WRI)

Perlakuan	Berat Substrat Total (g)	Berat Residu (g)	Fraksi Terdegradasi	Lama Proses (hari)	WRI (%/hari)
P1	3233,3	519,5	0,8393	18	4,663%/hari
P2	2160,3	354,0	0,8361	18	4,645%/hari

Perhitungan proporsi pengurangan substrat dilakukan dengan persamaan:

$$D = \frac{W - R}{W}$$

sedangkan nilai WRI dihitung dengan:

$$WRI = \frac{D}{t} \times 100$$

Keterangan

W : Total berat substrat (g)

- R : Berat residu setelah proses biokonversi (g)
 D : Proporsi pengurangan substrat
 t : Lama proses biokonversi (hari)

Pada P1:

$$D = \frac{3233,3 - 519,5}{3233,3} = 0,8393$$

$$WRI = \frac{0,8393}{18} \times 100 = 4,663\%/hari$$

Pada P2:

$$D = \frac{2160,3 - 354}{2160,3} = 0,8361$$

$$WRI = \frac{0,8361}{18} \times 100 = 4,645\%/hari$$

Berdasarkan hasil tersebut, P1 memiliki nilai WRI sebesar 4,663%/hari, sedangkan P2 sebesar 4,645%/hari. Nilai WRI P1 sedikit lebih tinggi daripada P2 dengan selisih 0,018%. Berdasarkan parameter perhitungan, kedua substrat menunjukkan kemampuan pengurangan substrat yang relatif berdekatan. Hasil ini menunjukkan bahwa perbedaan jenis substrat tidak menghasilkan perbedaan yang besar pada nilai WRI pada setiap perlakuan.

Namun, nilai WRI menunjukkan pengurangan substrat, bukan seluruh substrat yang berkurang berubah menjadi biomassa larva. Sebagian material dapat tetap menjadi residu, sebagaimana terlihat pada perlakuan P2 yang masih menyisakan bagian daun dan tangkai. Oleh karena itu, kemampuan konversi substrat menjadi biomassa larva perlu dianalisis menggunakan parameter *bioconversion rate* (BCR). Konsep ini sejalan dengan penelitian BSF yang membedakan pengurangan substrat dari pembentukan biomassa larva dan residu akhir.

4.2 *Bioconversion Rate (BCR)*

Bioconversion rate (BCR) merupakan parameter yang digunakan untuk menggambarkan perbandingan biomassa larva yang dihasilkan terhadap total substrat yang diberikan selama proses biokonversi. Nilai BCR menunjukkan besarnya biomassa larva akhir relatif terhadap jumlah substrat yang diberikan selama periode pemeliharaan. Semakin tinggi nilai BCR, semakin besar biomassa larva akhir yang dihasilkan relatif terhadap jumlah substrat yang diberikan. Pada penelitian ini, nilai BCR dihitung berdasarkan perbandingan antara biomassa larva akhir dan total substrat yang diberikan. Hasil perhitungan BCR pada masing-masing perlakuan disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 4 Hasil perhitungan *bioconversion rate (BCR)*

Perlakuan	Biomassa Larva Akhir (g)	Total Substrat Diberikan (g)	BCR (%)
P1	568,8	3233,3	17,591
P2	157,8	2160,3	7,304

Hasil perhitungan pada Tabel 4.3 menunjukkan adanya perbedaan nilai BCR antara perlakuan P1 dan P2. Perlakuan P1 (sisa makanan) memiliki nilai BCR sebesar 17,591%, sedangkan P2 (daun kelor) sebesar 7,304%. Dengan demikian, nilai BCR pada P1 sekitar 2,4 kali lebih tinggi dibandingkan P2. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbandingan biomassa larva akhir terhadap total substrat yang diberikan lebih besar pada P1 dibandingkan P2 selama periode pemeliharaan.

Perbedaan nilai BCR antara P1 dan P2 menunjukkan adanya perbedaan hasil pembentukan biomassa larva pada kedua jenis substrat yang digunakan. Taufek et al. (2024) menunjukkan bahwa jenis dan komposisi substrat dapat memengaruhi pertumbuhan larva serta kinerja biokonversi BSF. Perbedaan karakteristik substrat dapat menghasilkan perbedaan respons pertumbuhan dan biomassa larva yang dihasilkan. Kondisi tersebut sejalan dengan hasil penelitian ini, di mana substrat sisa makanan pada P1 menghasilkan nilai BCR yang lebih tinggi dibandingkan daun kelor pada P2.

Perbedaan tersebut juga didukung oleh hasil pengamatan visual selama proses biokonversi. Sebagaimana telah dijelaskan pada Subbab 4.1.2, substrat P1 mengalami perubahan fisik dari kondisi yang lebih lunak dan cair hingga secara

bertahap menjadi lebih kering dan membentuk residu. Sementara itu, pada P2 masih terlihat bagian substrat berupa daun yang relatif kering dan ranting yang tersisa selama proses pemeliharaan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa perubahan fisik substrat P1 dan P2 berlangsung dengan karakteristik yang berbeda. Perbedaan karakteristik fisik dan struktur bahan tersebut dapat berkaitan dengan tingkat kemudahan substrat untuk dimanfaatkan oleh larva. Namun, penelitian ini tidak mengukur tingkat pemanfaatan setiap bagian substrat secara terpisah, sehingga pengaruh langsung keberadaan daun kering dan ranting terhadap rendahnya BCR P2 tidak dapat dipastikan.

Perbedaan BCR selanjutnya perlu dibedakan dari Waste Reduction Index (WRI) karena kedua parameter tersebut menggambarkan aspek yang berbeda dalam proses biokonversi. WRI menggambarkan tingkat pengurangan substrat selama periode biokonversi, sedangkan BCR menggambarkan perbandingan biomassa larva akhir terhadap total substrat yang diberikan. Pada penelitian ini, nilai WRI P1 sebesar 4,663% dan P2 sebesar 4,645%, sehingga tingkat pengurangan substrat pada kedua perlakuan relatif berdekatan. Sebaliknya, nilai BCR menunjukkan perbedaan yang lebih besar, yaitu 17,591% pada P1 dan 7,304% pada P2. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa tingkat pengurangan substrat tidak secara langsung menggambarkan besarnya biomassa larva yang dihasilkan. Pengurangan massa substrat selama proses biokonversi tidak dapat diartikan seluruhnya sebagai pembentukan biomassa larva. Substrat yang berkurang selama proses dapat dimanfaatkan oleh larva untuk kebutuhan metabolisme dan pertumbuhan serta mengalami proses penguraian. Pada akhir pemeliharaan, sebagian material yang tidak berkurang masih ditemukan sebagai residu.

Perbedaan nilai BCR juga terlihat pada biomassa larva akhir yang dihasilkan. Perlakuan P1 menghasilkan biomassa larva akhir sebesar 568,8 g, sedangkan P2 sebesar 157,8 g. Biomassa larva akhir yang lebih tinggi pada P1 mendukung hasil BCR yang menunjukkan bahwa perbandingan biomassa yang dihasilkan terhadap substrat yang diberikan lebih besar pada perlakuan P1. Dengan demikian, WRI dan BCR memberikan informasi yang saling melengkapi dalam menggambarkan proses biokonversi. WRI menunjukkan tingkat pengurangan substrat, sedangkan BCR

menunjukkan biomassa larva akhir yang dihasilkan relatif terhadap jumlah substrat yang diberikan.

4.3 Kelangsungan Hidup Larva BSF Selama Proses Biokonversi

4.3.1 *Survival Rate* (SR)

Survival Rate (SR) digunakan untuk menggambarkan tingkat kelangsungan hidup larva BSF selama proses biokonversi pada substrat sisa makanan (P1) dan daun kelor (P2). Masing-masing perlakuan menggunakan larva BSF dengan bobot awal sebesar 15 gram. Jumlah individu larva pada awal penelitian tidak dihitung secara langsung, sehingga jumlah larva awal diestimasi berdasarkan bobot total larva yang digunakan dan bobot rata-rata individu larva BSF umur 7 hari. Hoc et al. (2020) melaporkan bobot rata-rata larva BSF umur 7 hari sebesar $0,010 \pm 0,002$ gram per ekor. Dalam penelitian ini, nilai 0,010 gram per ekor digunakan sebagai nilai rata-rata untuk mengestimasi jumlah larva awal.

Estimasi jumlah larva awal dihitung berdasarkan perbandingan antara bobot total larva dan bobot rata-rata individu larva menggunakan persamaan:

$$N_0 = \frac{W_0}{u}$$

Keterangan

N_0 : Estimasi jumlah larva awal (ekor)

W_0 : Bobot total larva awal (g)

u : Bobot rata-rata individu larva berdasarkan literatur (g/ekor)

Dengan bobot awal larva sebesar 15 gram dan bobot rata-rata individu sebesar 0,010 gram per ekor, maka estimasi jumlah larva awal dihitung sebagai berikut:

$$N_0 = \frac{15}{0,010} = 1.500 \text{ ekor}$$

Dengan demikian, estimasi jumlah larva awal pada perlakuan P1 dan P2 masing-masing adalah 1.500 ekor.

Namun, proses identifikasi larva mati memiliki keterbatasan. Pada kondisi tertentu, terutama ketika larva berada di antara atau tertutup oleh substrat, larva yang tidak menunjukkan pergerakan sulit dibedakan secara visual antara larva hidup dan larva mati. Selain itu, beberapa larva yang awalnya tidak menunjukkan pergerakan dapat kembali bergerak setelah diambil atau dipisahkan dari substrat. Kondisi tersebut menyebabkan pencatatan mortalitas tidak dapat dilakukan secara kontinu dan konsisten pada setiap waktu pengamatan.

Berdasarkan data yang berhasil diperoleh, pada perlakuan P1 terdapat 47 ekor larva yang teridentifikasi mati. Jumlah tersebut berasal dari lima waktu pencatatan dengan jumlah masing-masing 5, 10, 7, 12, dan 13 ekor. Dengan demikian, rata-rata jumlah larva yang teridentifikasi mati pada P1 adalah:

$$\frac{5 + 10 + 7 + 12 + 13}{5} = 9,40 \text{ ekor/pengamatan}$$

Sementara itu, pada perlakuan P2 terdapat 74 ekor larva yang teridentifikasi mati. Jumlah tersebut berasal dari tujuh waktu pencatatan dengan jumlah masing-masing 12, 7, 9, 12, 13, 13, dan 8 ekor. Rata-rata jumlah larva yang teridentifikasi mati pada P2 adalah:

$$\frac{12 + 7 + 9 + 12 + 13 + 13 + 8}{7} = 10,57 \text{ ekor/pengamatan}$$

Nilai rata-rata tersebut merupakan rata-rata larva yang berhasil teridentifikasi mati pada waktu pengamatan, sehingga tidak dapat dianggap sebagai angka mortalitas aktual yang terjadi secara kontinu selama periode pemeliharaan.

Estimasi jumlah larva yang masih hidup pada akhir penelitian dihitung berdasarkan selisih antara estimasi jumlah larva awal dan jumlah kematian kumulatif menggunakan persamaan:

$$N_t = N_0 - N_d$$

Keterangan

N_t : Estimasi jumlah larva hidup pada akhir penelitian (ekor)

N_0 : Estimasi jumlah larva awal (ekor)

N_d : jumlah total larva mati selama penelitian (ekor)

Pada perlakuan P1, jumlah larva yang teridentifikasi mati selama masa pemeliharaan sebanyak 47 ekor. Dengan demikian, estimasi jumlah larva yang masih hidup pada akhir penelitian adalah:

$$N_t = 1.500 - 47 = 1.453 \text{ ekor}$$

Pada perlakuan P2, jumlah larva yang teridentifikasi mati sebanyak 74 ekor, sehingga estimasi jumlah larva yang masih hidup pada akhir penelitian adalah:

$$N_t = 1.500 - 74 = 1.426 \text{ ekor}$$

Selanjutnya, nilai *Survival Rate* dihitung berdasarkan perbandingan antara estimasi jumlah larva yang masih hidup pada akhir penelitian dan estimasi jumlah larva awal. Perhitungan SR mengacu pada Dzepe et al. (2021), dengan persamaan:

$$SR = \frac{N_t}{N_0} \times 100\%$$

Hasil perhitungan *Survival Rate* pada masing-masing perlakuan disajikan pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 *Survival Rate* larva BSF selama proses biokonversi

Perlakuan	Estimasi jumlah awal (ekor)	Larva teridentifikasi mati (ekor)	Estimasi jumlah hidup akhir (ekor)	SR (%)
P1	1.500	47	1.453	96,87
P2	1.500	74	1.426	95,07

Berdasarkan Tabel 4.5, perlakuan P1 memiliki nilai *survival rate* sebesar 96,87%, sedangkan P2 sebesar 95,07%. Nilai SR pada P1 lebih tinggi sebesar 1,80 poin persentase dibandingkan P2. Jumlah larva yang teridentifikasi mati pada P2 juga lebih banyak, yaitu 74 ekor, sedangkan pada P1 sebanyak 47 ekor. Meskipun demikian, kedua perlakuan menunjukkan nilai SR di atas 95%, sehingga sebagian besar larva yang diestimasi pada awal penelitian masih bertahan hidup hingga akhir periode pemeliharaan.

Dzepe et al. (2021) menggunakan survival rate sebagai salah satu parameter untuk menggambarkan kelangsungan hidup larva BSF selama proses pemeliharaan.

Dalam penelitian ini, nilai SR digunakan untuk menunjukkan proporsi larva yang diperkirakan bertahan hidup pada masing-masing perlakuan selama proses biokonversi.

4.3.2 Interpretasi Kelangsungan Hidup Larva pada Masing-Masing Substrat

Hasil perhitungan *Survival Rate* menunjukkan bahwa perlakuan P1 (sisa makanan) memiliki nilai SR sebesar 96,87%, sedangkan P2 (daun kelor) sebesar 95,07%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa berdasarkan estimasi jumlah larva awal dan jumlah larva yang teridentifikasi mati selama pengamatan, proporsi larva yang diperkirakan masih hidup pada akhir pemeliharaan lebih tinggi pada P1 dibandingkan P2. Selisih nilai SR antara kedua perlakuan sebesar 1,80 poin persentase, sehingga perbedaan tingkat kelangsungan hidup antara P1 dan P2 relatif kecil.

Selama proses pemeliharaan, kondisi fisik substrat P1 dan P2 menunjukkan karakteristik yang berbeda. Pada P1, substrat mengalami perubahan tekstur dari kondisi yang lebih lunak dan cair menjadi semakin kering hingga membentuk residu. Sementara itu, pada P2 masih ditemukan bagian substrat berupa daun yang relatif kering serta ranting atau tangkai pada akhir proses pemeliharaan. Kondisi tersebut menunjukkan adanya perbedaan karakteristik fisik substrat selama proses biokonversi.

Keterbatasan tersebut berkaitan dengan kondisi larva dan substrat selama proses pemilahan. Pada kondisi tertentu, larva yang tidak menunjukkan pergerakan ketika berada di dalam substrat dapat kembali bergerak setelah diambil atau dipisahkan dari substrat. Kondisi ini menyebabkan identifikasi larva hidup dan mati berdasarkan pengamatan visual menjadi sulit. Oleh karena itu, larva dalam penelitian ini dicatat sebagai teridentifikasi mati apabila tidak menunjukkan pergerakan pada saat pengamatan dan proses pemilahan.

Kendala identifikasi juga ditemukan selama proses pemindahan dan pemilahan substrat. Beberapa larva yang sebelumnya tidak menunjukkan pergerakan dapat kembali bergerak setelah terpisah dari substrat. Oleh karena itu, dalam penelitian ini larva dicatat sebagai mati apabila tidak menunjukkan pergerakan pada saat pengamatan dan proses pemilahan. Dengan demikian, jumlah kematian yang diperoleh merupakan jumlah larva yang teridentifikasi tidak

bergerak pada waktu pengamatan, sehingga belum menggambarkan pemantauan mortalitas secara kontinu sepanjang periode pemeliharaan.

Keterbatasan identifikasi tersebut juga menyebabkan jumlah larva yang teridentifikasi mati tidak dapat dianggap sebagai jumlah kematian absolut yang terjadi selama keseluruhan periode pemeliharaan. Data tersebut hanya menunjukkan jumlah larva yang berhasil diidentifikasi tidak hidup pada saat pengamatan. Dengan demikian, perbedaan jumlah larva teridentifikasi mati antara P1 dan P2 perlu dipahami sebagai perbedaan hasil identifikasi mortalitas, bukan sebagai bukti bahwa salah satu substrat secara langsung menyebabkan tingkat kematian larva yang lebih tinggi.

Selain itu, jumlah larva awal pada masing-masing perlakuan merupakan hasil estimasi berdasarkan bobot total larva dan bobot rata-rata individu dari literatur. Oleh karena itu, nilai SR yang diperoleh juga merupakan nilai estimasi. Kondisi ini perlu dipertimbangkan dalam menginterpretasikan hasil kelangsungan hidup larva pada kedua perlakuan. Keberadaan daun kering, ranting, dan tangkai pada substrat P2 merupakan kondisi fisik yang diamati selama penelitian. Kondisi tersebut tidak dapat digunakan untuk menyatakan bahwa bagian substrat tersebut menjadi penyebab langsung nilai SR P2 yang lebih rendah karena penelitian ini tidak mengukur hubungan antara bagian substrat tersebut dengan mortalitas larva secara khusus.

Secara keseluruhan, nilai *Survival Rate* sebesar 96,87% pada P1 dan 95,07% pada P2 menunjukkan bahwa berdasarkan estimasi jumlah larva awal dan jumlah larva yang berhasil teridentifikasi mati, sebagian besar larva diperkirakan tetap hidup hingga akhir periode pemeliharaan. P1 memiliki nilai SR yang lebih tinggi sebesar 1,80 poin persentase dibandingkan P2. Namun, perbedaan tersebut perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena jumlah larva awal diperoleh melalui estimasi dan proses identifikasi mortalitas memiliki keterbatasan. Dengan demikian, hasil SR memberikan gambaran mengenai tingkat kelangsungan hidup larva BSF pada substrat sisa makanan dan daun kelor berdasarkan data mortalitas yang berhasil diperoleh selama proses pengamatan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai biokonversi sampah organik menggunakan larva *black soldier fly* (BSF) dengan substrat sisa makanan (P1) dan daun kelor (P2), dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kemampuan larva BSF dalam mengurangi substrat pada perlakuan sisa makanan (P1) dan daun kelor (P2) berdasarkan nilai *waste reduction index* (WRI) menunjukkan hasil yang relatif berdekatan. P1 memiliki nilai WRI sebesar 4,663%/hari, sedangkan P2 sebesar 4,645%/hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua perlakuan memiliki tingkat pengurangan substrat yang relatif sama berdasarkan parameter WRI selama periode biokonversi.
2. Kemampuan biokonversi substrat menjadi biomassa larva berdasarkan *bioconversion rate* (BCR) menunjukkan perbedaan antara kedua perlakuan. P1 menghasilkan biomassa larva akhir sebesar 568,8 g dengan nilai BCR sebesar 17,591%, sedangkan P2 menghasilkan biomassa larva akhir sebesar 157,8 g dengan nilai BCR sebesar 7,304%. Dengan demikian, perbandingan biomassa larva akhir terhadap total substrat yang diberikan pada P1 sekitar 2,4 kali lebih tinggi dibandingkan P2. Hasil ini menunjukkan bahwa sisa makanan menghasilkan biomassa larva akhir yang lebih besar relatif terhadap jumlah substrat yang diberikan dibandingkan daun kelor dalam kondisi penelitian.
3. Tingkat kelangsungan hidup larva BSF berdasarkan *survival rate* (SR) menunjukkan nilai sebesar 96,87% pada P1 dan 95,07% pada P2. Berdasarkan estimasi jumlah larva awal sebesar 1.500 ekor pada masing-masing perlakuan, terdapat 47 ekor larva yang teridentifikasi mati pada P1 dan 74 ekor pada P2. Kedua perlakuan menunjukkan tingkat kelangsungan hidup yang relatif tinggi selama periode pemeliharaan. Namun, hasil SR perlu dipahami sebagai estimasi karena jumlah larva awal ditentukan berdasarkan bobot dan identifikasi larva mati memiliki keterbatasan pada kondisi substrat tertentu.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ditemui selama pelaksanaan penelitian, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan penghitungan jumlah larva awal secara langsung agar nilai Survival Rate dapat ditentukan berdasarkan jumlah individu aktual, sehingga ketidakpastian yang berasal dari estimasi berdasarkan bobot dapat dikurangi.
2. Pengamatan kelangsungan hidup larva disarankan dilakukan secara lebih sering dan konsisten, terutama pada substrat yang mengalami perubahan tekstur menjadi sangat cair. Pemisahan dan identifikasi larva hidup dan mati perlu dilakukan dengan metode yang dapat mengurangi kesalahan identifikasi selama proses pengamatan.
3. Karakteristik substrat, khususnya kadar air, pH, suhu, dan komposisi nutrisi, disarankan diukur secara lebih teratur selama proses biokonversi. Analisis tambahan terhadap karakteristik fisik dan kimia substrat dapat membantu menjelaskan perbedaan hasil WRI, BCR, dan Survival Rate antara substrat sisa makanan dan daun kelor.
4. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan jumlah ulangan yang memadai dan analisis statistik yang sesuai untuk mengetahui apakah perbedaan nilai WRI, BCR, dan Survival Rate antara jenis substrat benar-benar menunjukkan perbedaan yang signifikan.
5. Penggunaan substrat daun kelor pada penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan proses pencacahan atau penyeragaman ukuran bahan untuk memperoleh kondisi substrat yang lebih homogen dan memudahkan pengamatan serta pemanfaatan substrat oleh larva BSF.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 1275–1290. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>
- Amrul, N. F., Ahmad, I. K., Basri, N. E. A., Suja, F., Abdul Jalil, N. A., & Azman, N. A. (2022). A review of organic waste treatment using black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Sustainability*, 14(8), 4565. <https://doi.org/10.3390/su14084565>
- Chen, L., Xu, M., Shang, R., Xin, Y., Wang, G., Li, Y., Wang, Z., Wang, X., Sun, H., & Li, L. (2025). Evaluating different supplements on the growth performance and bioconversion efficiency of kitchen waste by black soldier fly larvae. *Insects*, 16(1), 22. <https://doi.org/10.3390/insects16010022>
- Cheng, J. Y. K., Chiu, S. L. H., & Lo, I. M. C. (2017). Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion. *Waste Management*, 67, 315–323. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.046>
- Chia, S. Y., Tanga, C. M., Khamis, F. M., Mohamed, S. A., Salifu, D., Sevgan, S., Fiaboe, K. K. M., Niassy, S., van Loon, J. J. A., Dicke, M., & Ekesi, S. (2018). Threshold temperatures and thermal requirements of black soldier fly *Hermetia illucens*: Implications for mass production. *PLOS ONE*, 13(11), e0206097. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206097>
- Damanhuri, E., & Padmi, T. (2016). *Pengelolaan sampah terpadu*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Dewi, R. K., Ardiansyah, F., Fadhlil, R. C., & Wahyuni. (2021). *Maggot BSF: Kualitas Fisik dan Kimianya*. Jawa Timur: Litbang Pemas UNISLA
- Diener, S., Studt Solano, N. M., Roa Gutiérrez, F., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2011). Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste and Biomass Valorization*, 2, 357–363. <https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1>.

- Diener, S., Zurbrugg, C., & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae—Establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research*, 27(6), 603–610.
- Dzepe, D., Nana, P., Kuietche, H. M., Kimpara, J. M., Magatsing, O., Tchuinkam, T., & Djouaka, R. (2021). Feeding strategies for small-scale rearing black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as organic waste recycler. *SN Applied Sciences*, 3, 252. <https://doi.org/10.1007/s42452-020-04039-5>
- Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6), 1060. <https://doi.org/10.3390/ijerph16061060>
- Gold, M., Tomberlin, J. K., Diener, S., Zurbrugg, C., & Mathys, A. (2018). Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. *Waste Management*, 82, 302–318. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.022>
- Hoc, B., Genva, M.-L., Fauconnier, M.-L., Lognay, G., Francis, F., & Caparros Megido, R. (2020). About lipid metabolism in *Hermetia illucens* (L. 1758): On the origin of fatty acids in prepupae. *Scientific Reports*, 10, 11916. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68784-8>
- IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press.
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Kusumaningsari, D. (2017). “Pemanfaatan dan Pengelolaan Sampah Organik dan Nonorganik.” *Journal Kesehatan Lingkungan*, 8(9), 1–58
- Lalander, C., Diener, S., Zurbrugg, C., & Vinnerås, B. (2019). Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black

- soldier fly (*Hermetia illucens*). *Journal of Cleaner Production*, 208, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>
- Mulyono. (2014). *Membuat Mikroorganisme Lokal (MOL) & Kompos dari Sampah Rumah Tangga*. Jakarta: PT AgroMedia Pustaka
- Naser El Deen, S., van Rozen, K., Elissen, H., van Wikselaar, P., Fodor, I., van der Weide, R., & Veldkamp, T. (2023). Bioconversion of different waste streams of animal and vegetal origin and manure by black soldier fly larvae *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae). *Insects*, 14(2), 204. <https://doi.org/10.3390/insects14020204>.
- Ningsih, S. S., Hartono, D. M., & Dahlan, A. V. (2023). Effect of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae bioconversion duration in processing household organic waste and market waste in Jakarta on the efficiency of the bioconversion process. *E3S Web of Conferences*, 422, 01002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342201002>
- Pramadita, S., Aprillia, R., & Mukhtar, W. (2021). Potensi daur ulang sampah melalui identifikasi jenis dan karakteristik sampah di panti asuhan dan Pesantren Darul Khairat. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 9(2), 82–89. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v9i2.47598>.
- Putra, Y., & Ariesmayana, A. (2020). “Efektifitas Penguraian Sampah Organik Menggunakan Maggot (BSF) di Pasar Rau Trade Center.” *Jurnal Lingkungan dan Sumberdaya Alam (JURNALIS)*, 3(1), 11–24.
- Rehman, K. U., Hollah, C., Wiesotzki, K., Rehman, R. U., Rehman, A. U., Zhang, J., Zheng, L., Nienaber, T., Heinz, V., & Aganovic, K. (2023). Black soldier fly, *Hermetia illucens* as a potential innovative and environmentally friendly tool for organic waste management: A mini-review. *Waste Management & Research*, 41(1), 81–97. <https://doi.org/10.1177/0734242X221105441>
- Shumo, M., Khamis, F. M., Tanga, C. M., Fiaboe, K. K. M., Subramanian, S., Ekési, S., van Huis, A., & Borgemeister, C. (2019). Influence of temperature on selected life-history traits of black soldier fly (*Hermetia illucens*) reared on

- two common urban organic waste streams in Kenya. *Animals*, 9(3), 79.
<https://doi.org/10.3390/ani9030079>
- Singh, A., & Kumari, K. (2019). An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using black soldier fly larvae: A review. *Journal of Environmental Management*, 251, 109569.
- Su, B., & Chen, X. (2020). Current status and potential of *Moringa oleifera* leaf as an alternative protein source for animal feeds. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 53. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00053>.
- Sugumaran, D., Udakandage, M. D., Kodippili, S. P., De Alwis, M. M., Attigala, D., Ranasinghe, N. N., Manatunga, D. C., Dassanayake, R. S., Zhou, Y., & Liu, Y. (2025). Artificial intelligence in sustainable organic waste treatment: A review. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 7, 539–560.
<https://doi.org/10.1007/s42768-025-00246-1>
- Surendra, K. C., Tomberlin, J. K., van Huis, A., Cammack, J. A., Heckmann, L. H. L., & Khanal, S. K. (2020). Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). *Waste Management*, 117, 58–80.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.050>.
- Taufek, N. M., Mohamad Zulkifli, N. F. N., & Hamizah, A. N. (2024). Upcycling of food waste generated from the fresh market by utilising black soldier fly larvae: Influence on growth, bioconversion, and nutritional composition. *Journal of Environmental Management*, 349, 119467.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119467>
- Tomberlin, J. K., Adler, P. H., & Myers, H. M. (2009). Development of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature. *Environmental Entomology*, 38(3), 930–934.
<https://doi.org/10.1603/022.038.0347>
- Tonini, D., Wandl, A., Meister, K., Muñoz Unceta, P., & Christensen, T. H. (2020). Quantitative sustainability assessment of household food waste management in the Amsterdam Metropolitan Area. *Resources*,

Conservation and Recycling, 160, 104854.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104854>.

Valdivié-Navarro, M., Martínez-Aguilar, Y., Mesa-Fleitas, O., Botello-León, A., Betancur-Hurtado, C., & Velázquez-Martí, B. (2019). Review of *Moringa oleifera* as forage meal (leaves plus stems) intended for the feeding of non-ruminant animals. *Animal Feed Science and Technology*, 257, 114338.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114338>

Varjani, S., Shah, A. V., Vyas, S. V., & Srivastava, V. K. (2021). *Processes and prospects on valorizing solid waste for the production of valuable products employing bio-routes: A systematic review*. *Chemosphere*, 282, 130954.
 DOI:10.1016/j.chemosphere.2021.130954.

Wang, Y., Quan, J., Cheng, X., Li, C., & Yuan, Z. (2024). Relationship of black soldier fly larvae (BSFL) gut microbiota and bioconversion efficiency with properties of substrates. *Waste Management*, 180, 106–114.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.03.030>



LAMPIRAN I PERHITUNGAN

1. Perhitungan *Waste Reduction Index* (WRI)

Waste reduction index (WRI) dihitung menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Diener dkk. (2009) sebagai berikut:

$$WRI = \frac{D}{t} \times 100$$

$$D = \frac{W - R}{W}$$

Keterangan

WRI : Waste Reduction Index (% per hari)

W : Total berat substrat (g)

R : Berat residu setelah proses biokonversi (g)

D : Proporsi pengurangan substrat

t : Lama proses biokonversi (hari)

a. Perlakuan P1 (Sisa Makanan)

Diketahui

Total berat substrat = 3.233,3 g

Berat residu = 519,5 g

Lama proses = 18 Hari

Proporsi pengurangan substrat = $(3.233,3 - 519,5) / 3.233,3$

$$= 2.713,8 / 3.233,3$$

$$= 0,8393$$

WRI (%) = $(0,8393 / 18) \times 100\%$

$$= 4,663 \text{ \%/hari}$$

$$D = \frac{3.233,3 - 519,5}{3.233,3}$$

$$WRI = \frac{0,8393}{18} \times 100$$

$$= 4,663 \text{ \%/hari}$$

b. Perlakuan P2 (Daun Kelor)

Diketahui

$$\text{Total berat substrat} = 2.160,3 \text{ g}$$

$$\text{Berat residu} = 354 \text{ g}$$

$$\text{Lama proses} = 18 \text{ Hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Proporsi pengurangan substrat} &= (2.160,3 - 354) / 2.160,3 \\ &= 1.806,3 / 2.160,3 \\ &= 0,8361 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{WRI (\%)} &= (0,8361 / 18) \times 100\% \\ &= 4,645 \text{ \%/hari} \end{aligned}$$

$$D = \frac{2.160,3 - 354}{2.160,3}$$

$$WRI = \frac{0,8361}{18} \times 100$$

$$= 4,645 \text{ \%/hari}$$

2. Perhitungan Bioconversion Rate (BCR)

Bioconversion rate (BCR) dihitung menggunakan rumus yang dikembangkan oleh Chen dkk. (2024) sebagai berikut:

$$BCR = \frac{\text{total biomassa larva (g)}}{\text{total berat substrat yang diberikan (g)}} \times 100\%$$

a. Perlakuan P1 (Sisa Makanan)

Diketahui

$$\text{Total biomassa larva} = 568,8 \text{ g}$$

$$\text{Total substrat diberikan} = 3.233,3 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{BCR \%} &= (568,8 / 3.233,3) \times 100\% \\ &= 17,591 \text{ \%} \end{aligned}$$

$$BCR = \frac{568,8}{3.233,3} \times 100 \%$$

$$= 17,591 \%$$

b. Perlakuan P2 (Daun Kelor)

Diketahui

Total biomassa larva = 157,8 g

Total substrat diberikan = 2.160,3 g

BCR %
= $(157,8 / 2.160,3) \times 100\%$
= 7,304 %

$$BCR = \frac{157,8}{2.160,3} \times 100 \%$$

$$= 7,304 \%$$

3. Perhitungan Survival Rate (SR)

Survival Rate (SR) dihitung berdasarkan perbandingan antara estimasi jumlah larva yang masih hidup pada akhir penelitian dan estimasi jumlah larva awal. Estimasi jumlah larva awal diperoleh berdasarkan bobot total larva yang digunakan dan bobot rata-rata individu larva BSF umur 7 hari yang mengacu pada Hoc et al. (2020):

3.1 Estimasi Jumlah Larva Awal

Estimasi jumlah larva awal dihitung menggunakan persamaan:

$$N_0 = \frac{W_0}{u}$$

Keterangan

N_0 : Estimasi jumlah larva awal (ekor)

W_0 : Bobot total larva awal (g)

u : Bobot rata-rata individu larva berdasarkan literatur (g/ekor)

Diketahui

Bobot total larva awal = 15 gram

Bobot rata-rata individu larva = 0,0010g/ekor

Maka:

$$N_0 = \frac{15}{0,010} = 1.500 \text{ ekor}$$

$$N_0 = 1.500 \text{ ekor}$$

Dengan demikian, estimasi jumlah larva awal pada perlakuan P1 dan P2 masing-masing adalah 1.500 ekor.

3.2 Estimasi Jumlah Larva Hidup pada Akhir Penelitian

Estimasi jumlah larva yang masih hidup pada akhir penelitian dihitung berdasarkan selisih antara estimasi jumlah larva awal dan jumlah larva yang teridentifikasi mati selama masa pemeliharaan dengan persamaan:

$$N_t = N_0 - N_d$$

Keterangan

N_t : Estimasi jumlah larva hidup pada akhir penelitian (ekor)

N_0 : Estimasi jumlah larva awal (ekor)

N_d : jumlah total larva mati selama penelitian (ekor)

a. Perlakuan P1 (Sisa Makanan)

Diketahui

Estimasi jumlah larva awal = 1.500 ekor

Jumlah larva teridentifikasi mati = 47 ekor

Maka:

$$N_t = 1.500 - 47$$

$$N_t = 1.453 \text{ ekor}$$

Jadi, estimasi jumlah larva yang masih hidup pada akhir penelitian pada perlakuan P1 adalah 1.453 ekor

b. Perlakuan P2 (Daun Kelor)

Diketahui

Estimasi jumlah larva awal = 1.500 ekor

Jumlah larva teridentifikasi mati = 74 ekor

Maka:

$$N_t = 1.500 - 74$$

$$N_t = 1.426 \text{ ekor}$$

Jadi, estimasi jumlah larva yang masih hidup pada akhir penelitian pada perlakuan P1 adalah 1.426 ekor

3.3 Perhitungan *Survival Rate* (SR)

Survival Rate (SR) dihitung berdasarkan persamaan yang mengacu pada Dzepe et al. (2021):

$$SR = \frac{N_t}{N_0} \times 100\%$$

Keterangan

N_t : Estimasi jumlah larva yang masih hidup pada hari ke-18 (ekor)

N_0 : Estimasi jumlah larva yang ditebar pada awal percobaan, hari ke-0 (ekor)

a. Perlakuan P1 (Sisa Makanan)

Diketahui

Estimasi jumlah larva awal = 1.500 ekor

Estimasi jumlah larva hidup akhir = 1.453 ekor

Maka:

$$SR = \frac{1.453}{1.500} \times 100\%$$

$$SR = 96,87\%$$

Jadi, nilai *Survival Rate* pada perlakuan P1 adalah 96,87%.

b. Perlakuan P1 (Sisa Makanan)

Diketahui

Estimasi jumlah larva awal = 1.500 ekor

Estimasi jumlah larva hidup akhir = 1.426 ekor

Maka:

$$SR = \frac{1.426}{1.500} \times 100\%$$

$$SR = 95,07\%$$

Jadi, nilai *Survival Rate* pada perlakuan P1 adalah 95,07%.



LAMPIRAN II

DOKUMENTASI

	
Proses unboxing telur BSF	Proses aklimatisasi dengan media dedak
 Larva umur 2 hari setelah penetasan	
	
Larva umur 6 hari setelah penetasan	Media dedak 6 hari proses aklimatisasi



Proses pemilihan sampah makanan



Proses pengecekan suhu substrat



Proses pengecekan Ph substrat



Proses penimbangan substrat sisa makanan



Proses penimbangan substrat daun kelor



Proses memasukan substrat ke media



Proses penimbangan larva



Proses penyebaran larva ke substrat



Media ditutupi dengan kain kasa

Kondisi substrat sisa makanan
dipengamatan keduaKondisi substrat daun kelor
dipengamatan kedua

	
Proses penimbangan substrat sisa makanan	Proses penimbangan substrat daun kelor
	
Larva mati di substrat sisa makanan	Larva mati di substrat daun kelor
	
Biomassa larva akhir sisa makanan	Biomassa larva akhir daun kelor

	
Proses pemotongan kayu RAK media BSF	Proses pemasangan RAK media BSF
	
Rak media BSF	

جامعة الرانري

A R - R A N I R Y