

Sandec: Departemen  
Pengembangan Sanitasi, Air  
dan Limbah Padat

# Proses Pengolahan Sampah Organik dengan Black Soldier Fly (BSF)

Panduan Langkah-Langkah Lengkap – Edisi Kedua



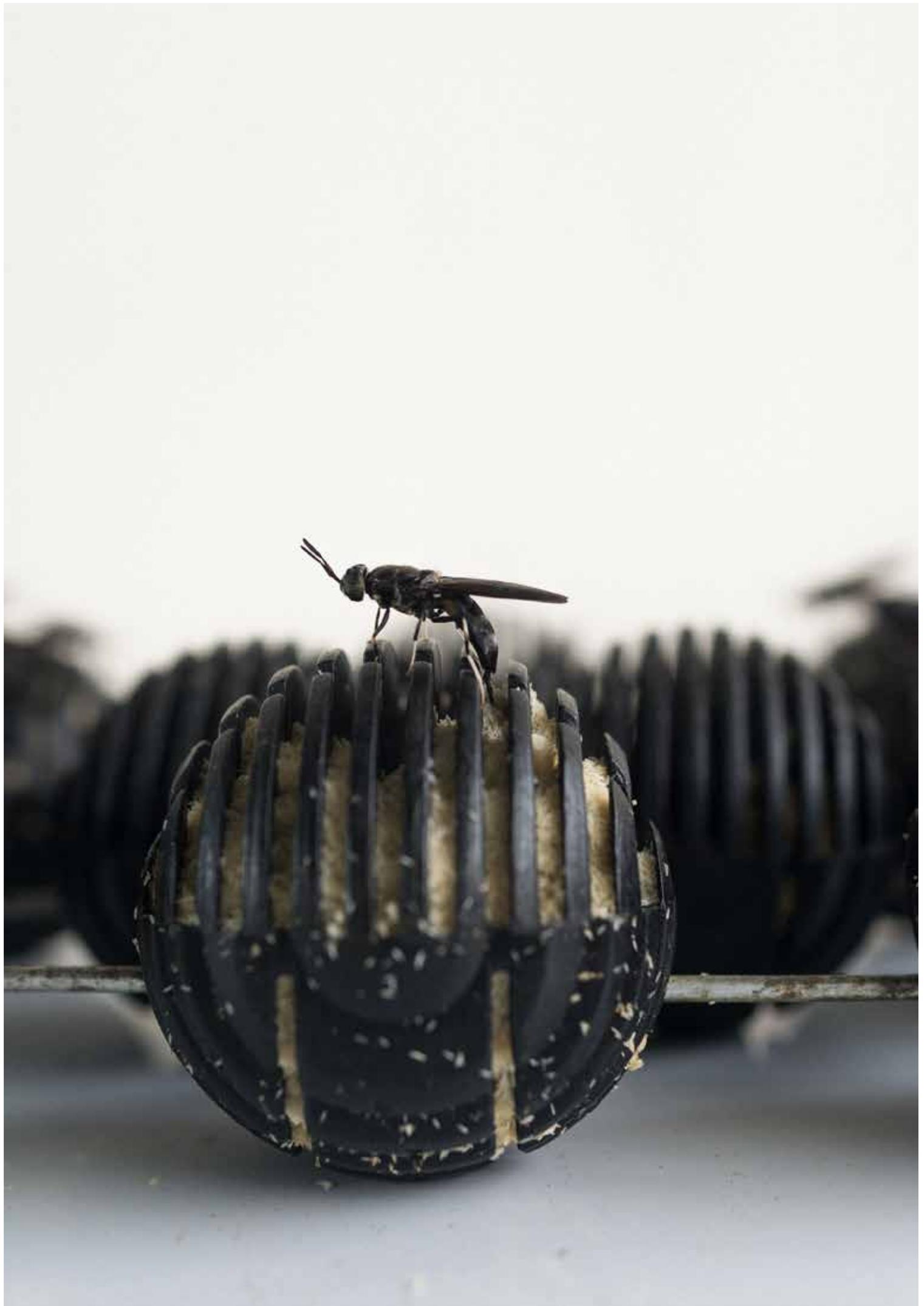


## Impressum

<b>Penerbit:</b>	Eawag – Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology Department of Sanitation, Water and Solid Waste for Development (Sandec) Überlandstrasse 133, 8600 Dübendorf, Switzerland Telepon +41 58 765 52 86
<b>Gambar sampul:</b>	Sirajuddin Kurniawan
<b>Foto:</b>	Eawag (terkecuali dinyatakan selainnya)
<b>Alih Bahasa:</b>	Teguh Rahayu dan Tina Kusumawardhani
<b>Penyusun:</b>	Leanza Mediaproduktion GmbH
<b>Gambar:</b>	Stefan Diener, Eawag
<b>Peninjau:</b>	Moritz Gold
<b>Tahun terbit:</b>	2021
<b>Sirkulasi:</b>	200 salinan dicetak pada kertas daur ulang
<b>ISBN:</b>	978-3-906484-75-4
<b>Referensi bibliografi:</b>	Dortmans B.M.A., Egger J., Diener S., Zurbrügg C. (2021) Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide, 2nd Edition Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland



Isi dokumen ini dilindungi oleh Lisensi Internasional Creative Commons Attribution 4.0



# Pengolahan Sampah Organik dengan Black Soldier Fly (BSF)

Panduan Langkah-Langkah Lengkap

– Edisi Kedua

Bram Dortmans  
Julia Egger  
Stefan Diener  
Christian Zurbrügg

Ditulis dan dipublikasikan dengan dukungan oleh Swiss State Secretariat for Economic Affairs (SECO) dan Swiss Re Foundation



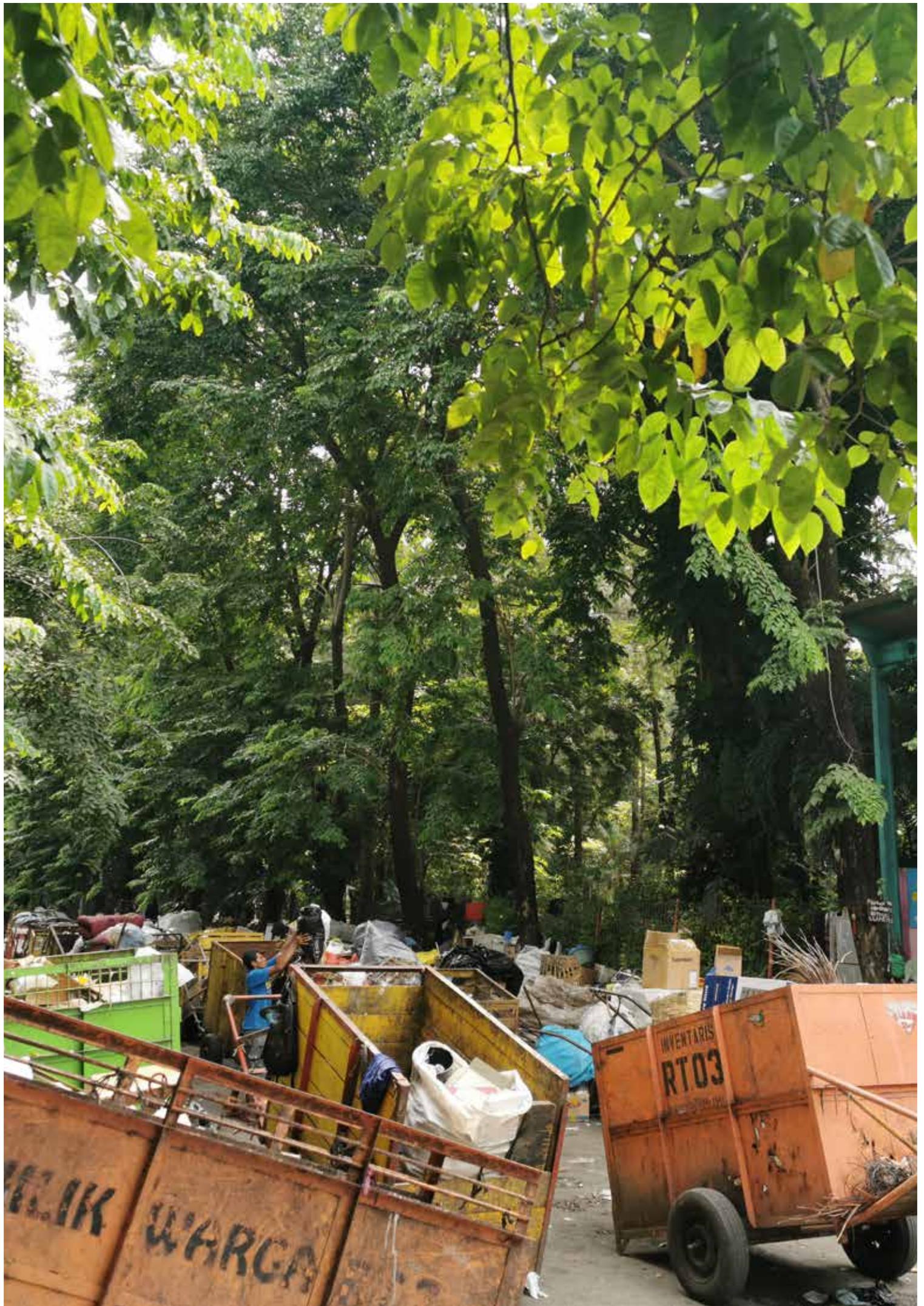
Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Federal Department of Economic Affairs,  
Education and Research EAER  
**State Secretariat for Economic Affairs SECO**



**Swiss Re**  
Foundation



## Daftar isi:

<b>Daftar istilah teknis</b>	<b>V</b>
<b>Bab 1: Dasar pemikiran</b>	<b>1</b>
1.1 Latar belakang	1
1.2 Jangkauan dan sasaran pembaca	2
1.3 Petunjuk penggunaan buku panduan ini	3
<b>Bab 2: Pengantar pengolahan sampah organik dengan BSF</b>	<b>5</b>
2.1 Black Soldier Fly	5
2.2 Mengapa menggunakan Black Soldier Fly?	7
2.3 Merekayasa siklus hidup BSF	8
2.4 Tindakan keselamatan dan kebersihan saat bekerja dengan BSF dan sampah organik	9
<b>Bab 3: Proses pembiakan BSF</b>	<b>11</b>
3.1 Pembiakan BSF di lingkungan terkontrol	11
3.2 Kegiatan di unit pembiakan BSF	16
3.3 Jadwal kegiatan dan pengelolaan data	36
<b>Bab 4: Konversi BSFL</b>	<b>39</b>
4.1 Pemetaan sumber sampah organik	39
4.2 Kegiatan di unit konversi BSFL	45
4.3 Jadwal kegiatan, monitoring, dan pengumpulan data	59
<b>Bab 5: Pengolahan lanjut BSFL dan pemasaran produk</b>	<b>61</b>
5.1 Produk yang dapat dipasarkan dari konversi sampah organik dengan BSFL	61
5.2 Langkah operasional	67
5.3 Monitoring, penyimpanan, dan pelabelan produk	84
<b>Bab 6: Pengembangan bisnis</b>	<b>87</b>
6.1 Analisis biaya pendapatan dan kelayakan finansial	87
6.2 Model bisnis berbasis skenario	88
6.3 Model biaya berbasis web	90
6.4 Penentuan lokasi fasilitas pengolahan sampah dengan BSF	90
6.5 Pembuatan denah dan perencanaan lokasi untuk fasilitas BSF	91
6.6 Skenario operasional dan penjadwalan kerja	92
<b>Bab 7: Lampiran</b>	<b>97</b>
7.1 Lampiran A: Jadwal kerja di unit pembiakan BSF (nursery)	99
7.2 Lampiran B: Jadwal pemberian pakan di nursery larvero	103
7.3 Lampiran C: Jadwal kerja di unit pengolahan sampah	104
7.4 Lampiran D: Lembar pengumpulan data untuk mengisi data harian parameter produktivitas di unit pembiakan BSF (nursery)	108
7.5 Lampiran E: Lembar pengumpulan data untuk mengisi data harian parameter produktivitas pada tahap pengolahan di unit konversi BSFL	110
7.6 Lampiran F: Lembar pengumpulan data untuk mengisi data harian parameter produktivitas pada tahap pra-pengolahan dan pemanenan di unit konversi BSFL	111
7.7 Lampiran G: Lembar pengumpulan data untuk mengisi data harian parameter produktivitas di unit pengolahan lanjut BSFL	113
7.8 Lampiran H: Gambar teknis peralatan yang dibuat secara khusus (custom-made) dan digunakan di fasilitas pengolahan sampah organik dengan BSF	114
7.9 Lampiran I: Daftar peralatan yang dibutuhkan di fasilitas pengolahan sampah organik dengan BSF, pada kapasitas pengolahan 5 ton sampah/hari	124

## Daftar istilah teknis

<b>5-DOI:</b>	Singkatan untuk larva umur lima hari (Five-Day-Old-Larvae). Larva yang baru menetas, apabila dipelihara di lingkungan yang terkontrol dan terlindungi selama lima hari, dapat meningkatkan kelangsungan hidup larva, sehingga larva lebih mudah untuk dihitung sebelum digunakan untuk mengolah sampah organik.
<b>Adult : (imago)</b>	Tahap terakhir perkembangan setelah pupa. Pada serangga, biasanya disebut "imago".
<b>Amino acids : (asam amino)</b>	Senyawa penyusun protein yang juga menentukan kualitas protein. Profil asam amino dari tepung BSF sangat penting dipertimbangkan untuk formulasi pakan hewan.
<b>Anaerobic digestion : (pengolahan anaerobik)</b>	Penguraian bahan organik oleh mikroorganisme tanpa memerlukan oksigen, yang produk akhirnya berupa biogas.
<b>Ant trap : (perangkap semut)</b>	Alat untuk mencegah dari serangan semut. Setiap kaki meja dilindungi oleh wadah berisi campuran air dan sabun (detergent). Sabun mengurangi ketegangan permukaan air.
<b>Attractant : (atraktan)</b>	Cairan berbau yang dapat menarik lalat BSF betina untuk bertelur. Biasanya, cairan ini terbuat dari berbagai bahan berbau seperti buah yang difermentasi, lalat mati, atau residu. Telur BSF juga dapat digunakan sebagai atraktan. Oleh sebab itu, disarankan untuk tidak memanen telur setiap hari, karena telur berfungsi sebagai atraktan lalat betina yang lain untuk meletakkan telur di sekitar telur tersebut.
<b>Batch operation : (operasional secara bertahap)</b>	Dalam operasional secara bertahap, jumlah sampah dan larva yang ditambahkan ke dalam suatu wadah/boks dapat ditentukan, yang kemudian dipanen pada waktu tertentu. Operasional secara bertahap berbeda dengan pengoperasian berkelanjutan, yang mana sampah dan larva ditambahkan secara berangsur-angsur ke dalam boks yang sama. Boks tersebut hanya dikosongkan setelah terisi penuh.
<b>BCR:</b>	Biomass Conversion Rate (laju konversi biomassa) adalah laju konversi dari sebagian sampah organik yang diubah menjadi biomassa larva.
<b>Biowaste : (sampah organik)</b>	Definisinya adalah semua bahan yang dapat diuraikan. Pada konteks ini, bahan tersebut tidak termasuk sampah yang kandungan selulosanya tinggi (contohnya, sampah perkebunan, kayu, rumput, daun, dll.) Karena tidak dapat dicerna oleh larva.
<b>Blanching:</b>	Blanching adalah proses mencelupkan larva ke dalam air mendidih dalam waktu yang singkat, lalu mencucinya dengan air yang bersih dan dingin.
<b>BSF:</b>	Black Soldier Fly, lalat tentara hitam, <i>Hermetia illucens</i>
<b>BSFL:</b>	Larva Black Soldier Fly
<b>Conditioning: (pengondisian)</b>	Conditioning adalah persiapan BSFL yang dipanen untuk dijual dalam bentuk hidup atau diolah lebih lanjut. Pengondisian larva perlu dilakukan untuk meningkatkan kemurnian dan kualitas produk.
<b>Cocopeat : (serbuk kelapa)</b>	Material berupa bubuk/serbuk yang dihasilkan dari proses pengolahan serat kelapa. Dalam konteks ini, serbuk kelapa umumnya digunakan untuk menyerap kelembaban. Serbuk kelapa dapat digantikan oleh bahan lain yang memiliki fungsi serupa, contohnya dedak gandum.
<b>Compost : (kompos)</b>	Bahan organik yang telah terurai dan diubah melalui proses aerobik menjadi substansi yang mirip tanah dan dapat dijadikan sebagai pupuk dan bahan pembenah tanah.
<b>Crude oil: (minyak mentah)</b>	Fraksi lemak yang dihasilkan dari pengepresan larva kering dengan mesin screw press. Disebut "kasar" karena selain lemak juga mengandung padatan, yang sebagian besarnya terdiri dari protein dan serat.
<b>Dark cage : (kandang gelap)</b>	Lalat keluar dari pupa di dalam dark cage, dan hidup di kandang tersebut hingga dipindahkan ke love cage. Kondisi yang gelap di dalam kandang, membuat lalat-lalat tenang dan mencegah aktivitas perkawinan lalat.

<b>Date code: (kode tanggal)</b>	Kode tanggal berfungsi untuk perhitungan durasi selama proses berlangsung dan digunakan untuk kandang dan wadah/boks. Kode terdiri dari kalender mingguan dalam setahun dan hari dalam seminggu (contohnya: hari Selasa, minggu ke-8, ditulis 8.2).
<b>Decanting:</b>	Proses untuk memurnikan minyak mentah BSF. Secara bertahap, minyak BSF yang terpisah dengan padatan dari satu wadah dituangkan ke wadah yang lain, diusahakan agar endapan padatan tidak terikut.
<b>Dehydration: (dehidrasi)</b>	Proses menghilangkan air dari suatu senyawa atau bahan, di sini yaitu BSFL segar. Setelah melalui proses ini, BSFL menjadi kering dan memiliki kadar air di bawah 5%.
<b>Desiccant: (pengering)</b>	Zat yang dapat menyerap air dan karenanya dapat mempertahankan kondisi kering dari suatu bahan.
<b>Dry matter: (DM, bahan kering)</b>	Bahan ini biasanya didapatkan dengan memasukkan suatu sampel bahan ke dalam oven pada suhu 105°C selama setidaknya 12 jam.
<b>Egg: (telur)</b>	Seekor lalat betina dapat menghasilkan telur sekitar 500 butir, dan telur tersebut akan menetas dalam waktu empat hari. Satu butir telur beratnya sekitar 29 µg.
<b>Eggie : (media peneluran)</b>	Media yang digunakan dalam rekayasa BSF untuk mengumpulkan telur-telur BSF. Media ini menyediakan rongga/celah kecil pelindung untuk peletakan telur oleh lalat betina.
<b>Engineered biosystem: (biosistem rekayasa)</b>	Sebuah proses biologis yang telah dioptimalkan kondisi lingkungannya menyerupai kondisi lingkungan yang alami untuk tujuan tertentu.
<b>Expiry date: (tanggal kedaluarsa)</b>	Tanggal yang ditetapkan ketika suatu produk sudah tidak boleh digunakan lagi.
<b>Faecal sludge : (endapan feses)</b>	Limbah yang dihasilkan dari sistem sanitasi di tempat, seperti pit latrines (jamban) atau septic tanks. Biasanya berupa campuran dari kotoran dan air, dan seringkali tercampur dengan pasir dan sampah rumah tangga.
<b>Fatty acids : (asam lemak)</b>	Komponen utama minyak. Komposisi asam lemak menentukan kualitas dan penggunaan minyak BSF.
<b>Feeding station : (area pemberian pakan)</b>	Area khusus dimana sampah organik ditambahkan ke larvero. Sebaiknya area ini terbuat dari bahan yang mudah dibersihkan (ubin atau lantai tertutup), karena ada kemungkinan sampah tumpah selama proses pemberian makan.
<b>Fishmeal : (tepung ikan)</b>	Tepung ikan adalah bahan pakan yang kaya akan nutrisi, yang digunakan untuk campuran pakan ternak. Tepung ini dibuat dari ikan laut kecil yang ditangkap secara liar, berupa serbuk yang diperoleh setelah menggiling, memasak, dan menghilangkan lemak ikan (defatting). Produksi tepung ikan merupakan penyebab utama terjadinya over-fishing (penangkapan ikan yang berlebihan).
<b>Food and restaurant waste : (sampah makanan dan restoran)</b>	Sampah organik dari restoran terdiri sisa bahan untuk memasak dan sisa makanan. Biasanya memiliki nilai gizi yang lebih tinggi dan kadar air yang lebih rendah daripada sampah pasar atau sampah sisa pengolahan makanan.
<b>Food processing waste: (sampah sisa pengolahan makanan)</b>	Sampah organik dari sisa pengolahan industri makanan. Sampah ini bervariasi, dari buah-buahan dan potongan sayuran hingga remah roti dan atau produk yang berbahan dasar susu. Biasanya sampah ini satu jenis dan berasal dari sumber sampah yang sama.
<b>Fractioning : (fraksionasi)</b>	Proses mengekstraksi lemak dari BSFL. Fraksionasi membagi larva menjadi fraksi protein (BSF meal atau tepung BSF) dan fraksi lemak (BSF oil atau minyak BSF).
<b>Frass/Residue: (kotoran larva/residu)</b>	Sisa dari proses pengolahan. Bahan ini bisa berupa substrat yang rapuh seperti tanah atau bubur basah. Diperlukan langkah pengomposan sebelum dapat digunakan sebagai bahan padat pembenah tanah dan/atau pupuk.
<b>Hammer mill : (mesin pencacah)</b>	Alat untuk menghancurkan dan mencacah suatu bahan menjadi ukuran yang lebih kecil dengan alat seperti palu yang berputar dan memukul material secara berulang-ulang. Alat ini tidak dapat digunakan untuk memotong suatu bahan. Ukuran partikel yang dihasilkan bergantung pada diameter outlet (keluaran) mesin.
<b>Hatching (menetas):</b>	Proses menetasnya larva muda (hatchling) dari telur.

<b>Hatchling:</b>	Larva yang baru menetas dari telur. Terkadang disebut juga dengan istilah "neonates".
<b>Hatchling container : (boks penetasan)</b>	Suatu wadah/boks tempat jatuhnya larva yang baru menetas, yang berisi pakan bernutrisi (pakan ayam), sebagai tempat larva tersebut hidup selama lima hari menjadi 5-DOL.
<b>Hatchling shower:</b>	Telur-telur yang dipanen, diletakkan di sebuah rak yang disebut hatchling shower, yang diletakkan di atas boks penetasan. Ketika larva menetas, larva tersebut akan jatuh ke boks penetasan, yang diganti secara rutin (setiap satu hingga tiga hari).
<b>Incubator unit: (boks inkubator)</b>	Suatu wadah/boks (30x20x10 cm) sebagai fase pertama pada tahap konversi BSFL (dari 5-DOL hingga 8-DOL)
<b>Instar:</b>	Fase pertumbuhan dari larva. BSFL melewati 5 instar sebelum mencapai instar akhir, yaitu fase prapupa.
<b>Lab oven:</b>	Oven yang memiliki suhu yang dapat diatur. Dalam pengolahan sampah organik dengan BSF, oven ini seringkali digunakan untuk mendapatkan sampel bahan kering dari sampah, residu, dan larva. Oven ini beroperasi pada suhu 105oC.
<b>Larva:</b>	Fase pra-dewasa pada serangga dengan metamorfosis sempurna (holometabola, serangga yang fase pra-dewasa sangat berbeda dengan fase dewasanya). Ada tujuh fase larva, yang biasa disebut instar, dalam siklus hidup BSF sebelum berubah menjadi lalat (imago).
<b>Larvero:</b>	Larvero adalah wadah/boks (60x40x15 cm) sebagai tempat dimana larva diberikan pakan berupa sampah organik setelah dipindahkan dari boks inkubator. Larva akan berada di dalam larvero ini dari 8-DOL hingga 17-DOL, sampai siap untuk dipanen.
<b>Love cage : (kandang kawin)</b>	Love cage adalah kandang jaring yang berisi kelompok lalat berusia hampir sama, yang dipanen dari dark cage. Di dalam love cage, lalat jantan dan betina melakukan perkawinan (mating), kemudian lalat betina meletakkan telurnya di eggies. Setelah satu minggu, love cage diturunkan dari meja love cage dan dikosongkan isinya.
<b>Low- and middle-income setting : (daerah dengan pendapatan rendah dan menengah)</b>	Meskipun pengolahan sampah organik dengan BSF dapat diaplikasikan di seluruh dunia, namun teknik yang dijelaskan di buku ini difokuskan pada negara berpendapatan rendah dan menengah (pendapatan perkapita kurang dari 170 juta IDR). Hal ini digolongkan berdasarkan rendahnya gaji buruh dan tingginya kuantitas sampah organik yang dihasilkan dari sampah perkotaan.
<b>Market waste: (sampah pasar)</b>	Sebagian besar terdiri dari buah-buahan dan sayuran. Memiliki kadar air yang tinggi (hingga 95 %) dan jenis sampahnya berbeda setiap musimnya. Bagian terluar dari sayuran berdaun kemungkinan telah tercemar pestisida, sehingga sebaiknya dibersihkan terlebih dahulu sebelum diberikan ke BSF.
<b>Municipal organic waste: (sampah perkotaan)</b>	Sampah yang dihasilkan dari pemukiman, termasuk sampah rumah tangga, pertokoan, industri, instansi (sekolah, pusat kesehatan, penjara, dll.) dan tempat-tempat umum (jalan, halte bus, taman, dan kebun).
<b>Net present value (NPV):</b>	NPV adalah selisih antara nilai arus kas yang masuk dengan nilai arus kas keluar pada periode waktu tertentu. Dalam buku panduan ini, NPV dihitung selama lima tahun.
<b>Nursery container : (nursery larvero)</b>	Di dalam boks penetasan, 5-DOL diberi makan dengan pakan yang jumlah nutrisinya telah ditetapkan (contoh: pakan ayam) sampai berubah menjadi prapupa. Prapupa kemudian dipindahkan ke boks pupasi, dimana prapupa tersebut menjadi pupa, lalu berubah menjadi lalat untuk keberlanjutan koloni.
<b>Pop-larvae:</b>	Salah satu jenis BSFL kering yang memiliki bentuk mengembang dan bertekstur renyah. Pop larvae dihasilkan melalui pengeringan microwave atau pemanggangan (roasting).
<b>Post-processing: (proses lanjut)</b>	Mencakup semua proses untuk mengolah larva yang telah disterilkan menjadi produk seperti BSFL kering, tepung BSF, dan minyak BSF.
<b>Poultry manure : (kotoran unggas)</b>	Sampah jenis ini dihasilkan dari peternakan ayam pedaging atau petelur. Larva BSF dapat tumbuh dengan sampah ini, karena merupakan sampah organik

<b>Prepupa : (prapupa)</b>	yang jenisnya sama, tapi sayangnya larva yang dihasilkan cenderung sangat kecil. Fase akhir dari larva yang bergerak keluar dari sampah untuk mencari tempat yang lebih kering untuk berpupasi (proses perubahan menjadi pupa). Dibandingkan dengan larva, prapupa memiliki kandungan kitin yang lebih tinggi sehingga sulit dicerna oleh ikan dan ayam.
<b>Press liquid: Pupa:</b>	Fraksi lemak cair yang dihasilkan dari pengolahan BSFL menggunakan screw press. Fase yang terjadi saat larva akan berubah bentuk menjadi lalat. Larva Black Soldier Fly akan berpupa menggunakan lapisan luar kulitnya yang berasal dari fase akhir larva. Lama fase pupa pada BSF adalah 20 hari .
<b>Pupation container: (boks pupasi)</b>	Tempat untuk larva BSF berpupasi, yang berisi media lembab (contoh: kompos, serbuk kelapa yang lembab, tanah pot, dll.), sebagai tempat prapupa untuk menguburkan dirinya hingga menjadi pupa.
<b>Purging:</b>	Proses untuk mengkondisikan larva sebelum dijual dalam bentuk segar dan hidup. Larva dicuci dengan air bersih kemudian dimasukkan dalam wadah berisi cocopeat kering dan dibiarkan selama beberapa jam.
<b>Rearing (pembiahan):</b>	Fasilitas pembiahan massal berisi keseluruhan siklus hidup Black Soldier Fly untuk memproduksi jumlah 5-DOL yang cukup untuk mengolah sampah organik.
<b>Residue/Frass: (residu/kotoran larva)</b>	Lihat "Frass".
<b>Sanitising (sanitasi):</b>	Proses untuk mengkondisikan larva sebelum diolah menjadi produk BSFL. Larva dibunuh dengan cepat, dengan cara mencelupkannya ke dalam air mendidih selama 60 detik, kemudian dibersihkan dengan air dingin dan bersih.
<b>Shaking sieve: (mesin ayak)</b>	Ayakan yang bergetar atau bergoyang yang digerakkan oleh eccentric drive. Mesin ini memiliki ayakan berukuran 3 dan 7 mm, yang digunakan dalam pemanenan untuk memisahkan larva dari residu.
<b>Shelf life (umur simpan):</b>	Umur simpan adalah lamanya waktu untuk produk BSFL dapat digunakan sebelum kualitasnya menurun.
<b>Slaughterhouse waste: (sampah dari rumah pemotongan hewan)</b>	Termasuk tulang, organ, kuku, darah dan bagian hewan lain yang tidak dikonsumsi. Isi perut hewan juga termasuk.
<b>Spent grains: (sampah bebijian)</b>	Produk sampah utama dari produksi bir. Sisa biji-bijian dan bahan tambahan lainnya, setelah mash (bubur sisa pembuatan whiskey) diambil inti sarinya (diekstraksi), yang berupa gula, protein, dan bahan-bahan bergizi lainnya.
<b>Substrate (substrat):</b>	Bahan yang terdiri dari berbagai jenis sampah organik setelah pra-pengolahan dan pengkondisian, yang diberikan ke BSFL sebagai pakan.
<b>Transfer container: (boks transfer)</b>	Tempat prapupa yang bergerak keluar dari nursery container. Di dalam boks ini berisi cocopeat atau bahan kering lainnya untuk mencegah prapupa keluar.
<b>TS:</b>	Total solids (total padatan) adalah bahan kering dari suatu bahan. Biasanya berkaitan dengan analisis kadar air suatu bahan.
<b>Ventilation frame: (kerangka ventilasi)</b>	Alat yang berfungsi untuk menyediakan jarak antar larvero yang satu dengan larvero lainnya sehingga terjadi pergantian udara dan mengurangi kelembaban di dalam larvero.
<b>Waste reduction: (reduksi sampah)</b>	Reduksi sampah dapat diukur berdasarkan berat basah atau berat kering, dengan membandingkan jumlah sampah organik yang masuk ke tahap pengolahan dengan sisa biomas (residu). Besarnya nilai reduksi sampah tergantung dari jenis sampah organik yang diolah, namun diharapkan nilainya berada di antara 60-80% berat kering.
<b>Waste sourcing: (pemetaan sumber sampah)</b>	Pemetaan sumber sampah yang baik, sangat penting dilakukan untuk melengkapi rantai pengolahan sampah. Dengan mengandalkan skema pengumpulan sampah yang baik dalam segala aspek, sehingga dapat mengefisiensikan dana yang dikeluarkan dan transportasi yang digunakan pun memadai.
<b>Water activity: (aktivitas air)</b>	Aktivitas air merupakan ukuran air bebas dalam suatu produk yang tersedia untuk mikroorganisme. Aktivitas air yang lebih rendah dari 0.6 dapat menghambat pertumbuhan bakteri dan jamur.
<b>Water content: (kadar air)</b>	Ketika sampel (substrat, larva, residu, dll.) dikeringkan pada suhu 105°C di dalam lab oven, semua air yang menguap dikategorikan sebagai "kadar air". Bersamaan dengan sisa bahan padat ("total padatan"), keduanya dinyatakan sebagai persentase berat basah yang setara dengan 100%.





## Bab 1:

# Dasar pemikiran

### 1.1 Latar Belakang

Pengelolaan sampah di daerah perkotaan merupakan salah satu hal yang paling mendesak dan merupakan permasalahan lingkungan yang serius, yang dihadapi oleh pemerintah di negara berpendapatan rendah dan menengah. Tantangan yang semakin berat ini akan terus meningkat karena adanya trend urbanisasi yang terjadi dan tumbuh dengan cepat di masyarakat perkotaan. Karena meningkatnya tekanan dari masyarakat akan kepedulian terhadap kondisi lingkungan, para ahli sampah dunia terpanggil untuk mengembangkan metode berkelanjutan untuk mengatasi sampah perkotaan, dengan mengusung konsep perputaran ekonomi (circular economy).

Daur ulang sampah organik (biowaste) masih terbatas, khususnya di daerah berpendapatan rendah dan menengah, padahal sampah jenis tersebut yang menjadi kontributor terbesar dari sampah perkotaan yang dihasilkan. Buku ini menjelaskan tentang sampah organik perkotaan yang berasal dari sampah rumah tangga, aktivitas komersial (pertokoan, industri), dan instansi. Buku ini juga menjelaskan konversi sampah organik oleh larva serangga, yaitu dengan menggunakan Black Soldier Fly (BSF), *Hermetia illucens*, sebagai sebuah pendekatan yang telah menjadi perhatian pada dekade terakhir ini. Penggunaan larva dari serangga ini sebagai pengolah sampah merupakan suatu pendekatan yang menjanjikan, karena selain mereduksi jumlah sampah dalam waktu singkat, larva BSF yang dipanen tersebut dapat berguna sebagai sumber protein untuk campuran dalam industri pembuatan pakan ternak. Teknologi ini telah menjadi perhatian dalam beberapa tahun terakhir karena peluang bisnis yang ditawarkannya, yang sekaligus menjawab beberapa tantangan masyarakat modern berupa: masalah kebersihan yang timbul dari kurangnya pengelolaan sampah yang baik, pengangguran di daerah perkotaan, dan meningkatnya permintaan akan pakan berkelanjutan – terutama di sektor budidaya ikan dan burung. Perusahaan-perusahaan besar dan beberapa pengusaha kecil telah menginvestasikan dana dan waktu untuk mengembangkan teknologi ini. Ketertarikan mereka pada teknologi ini dikarenakan keunggulannya yang kompetitif pada aspek praktis pengoperasian fasilitas dengan biaya yang efektif. Meskipun publikasi secara akademik tentang BSF mengalami peningkatan, namun adanya campur tangan dari pihak pebisnis dan minat kompetisi, menghambat adanya diskusi terbuka untuk pengembangan yang lebih lanjut guna membangun dan mengoperasikan fasilitas pengolahan sampah menggunakan larva BSF ini. Hal inilah yang menjadi tujuan utama dari diterbitkannya buku ini.

Buku ini dibuat berdasarkan pada pengalaman dari fasilitas BSF di Indonesia dengan kapasitas pengolahan dua ton sampah organik per hari, yang telah beroperasi selama lebih dari lima tahun dan atas wawasan yang didapat dari fasilitas percobaan di Swedia. Sampah yang diolah di fasilitas tersebut, sebagian besarnya terdiri dari buah-buahan dan sayuran yang berasal dari pasar grosir. Peningkatan skala atau transfer informasi ke fasilitas yang lebih besar mungkin membutuhkan beberapa adaptasi dan penyesuaian peralatan. Walaupun menurut kami, standar prosedur yang dideskripsikan di buku ini telah sesuai untuk diadaptasi pada skala yang lebih besar.

Dua proyek penelitian menjadi dasar penulisan edisi kedua buku panduan ini, yaitu FORWARD dan SIBRE. FORWARD adalah sebuah proyek yang berlokasi di Indonesia, yang didanai oleh Swiss State Secretariat for Economic Affairs (SECO) dan bekerjasama dengan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia (Kementerian PUPR). Proyek tersebut bekerjasama pula dengan pemerintah pusat dan lokal, para peneliti di Indonesia, dan perusahaan swasta yang terpilih untuk mengembangkan dan mengimplementasikan pengolahan sampah organik dengan BSF. SIBRE adalah proyek penelitian yang didanai oleh Swiss Re Foundation dengan tujuan untuk menghasilkan pengetahuan dan peralatan seputar pengolahan sampah organik dengan BSF, untuk dapat digunakan oleh pengusaha kecil dan menengah, serta kota. Fokus utama SIBRE yaitu pada sudut pandang ekonomi dan mengembangkan protokol standar untuk produk olahan yang berasal dari larva BSF, serta melakukan pengujian yang sesuai dengan kondisi di Indonesia.

Selain itu, edisi kedua buku panduan ini juga memperoleh manfaat yang signifikan dari kerjasama dengan ETH-Zürich dan Departemen Ilmu dan Teknologi Kesehatan, melalui kelompok penelitian Prof. A. Mathys tentang Pengolahan Pangan Berkelanjutan, melalui kolaborasi berbagai proyek penelitian pada pengolahan sampah organik dengan BSF.

Buku panduan ini ditulis sebagai sumber terbuka (open-source) dengan harapan bahwa pengolahan sampah organik dengan BSF akan mendapat perhatian, implementasi, dan replikasi yang lebih luas. Dengan semangat ini, penulis juga ingin menyebutkan pihak-pihak yang turut mengembangkan, mendokumentasikan, dan mendiskusikan aspek-aspek praktis di unit pembiakan BSF dan pengolahan sampah dengan larva BSF. Terima kasih disampaikan kepada Sirajuddin Kurniawan sebagai fotografer gambar peralatan dan membantu penjelasan langkah-langkah kerja menjadi lebih singkat dalam bentuk visualisasi gambar; Bart Verstappen atas kontribusinya pada edisi pertama buku ini; Maximilian Grau dan Grégoire Virard atas kerja kerasnya dalam membuat model perancangan biaya; Alexander Mathys, Moritz Gold dan Daniela Peguero dari ETH-Zürich atas kolaborasi penelitian yang sangat inspiratif dan bermanfaat; Cecilia Lalander dan Björn Vinnerås dari Swedish Agricultural University SLU (Swedia) untuk kerjasama penelitiannya yang luar biasa; Tina Kusumawardhani dan Teguh Rahayu yang telah menerjemahkan buku ini ke dalam Bahasa Indonesia dan atas semua bantuan mereka dalam mengembangkan sistem pembiakan BSF; Longyu Zheng dan Jibin Zhang dari Huazhong Agricultural University (China) dan Michael Wu dari JM Green (China) atas keterbukaannya untuk berdiskusi dan memberikan masukan yang bermanfaat; serta Waste4Change dan Puspa Agro atas kerjasama dan kesediaannya untuk mengelola fasilitas BSF.

## **1.2 Jangkauan dan sasaran pembaca**

Fasilitas pengolahan BSF dapat didesain dan dioperasikan untuk mencapai target tertentu berdasarkan siklus hidup alami BSF. Contohnya, biaya dapat diatur secara efektif dengan cara meningkatkan kualitas larva atau memaksimalkan berat larva yang diproduksi dalam waktu tertentu, atau berdasarkan bahan baku tertentu, yang serupa dengan sistem pemeliharaan pada hewan ternak (ayam, sapi, dll.).

Buku panduan ini mengacu pada sudut pandang pengelolaan sampah. Dengan kata lain, kami memulai dari dasar pemikiran bahwa sampah organik adalah fokus material yang kami sarankan untuk diolah dengan teknologi pengolahan BSF sebagai proses yang cocok dan solusi daur ulang untuk memproduksi larva dan residu sampah.

Karena itu, tujuan utamanya adalah mengolah sampah organik dengan cara seefisien mungkin, yaitu dengan memperhitungkan biaya investasi dan operasional, serta kebutuhan ruang. Dengan mengolah sampah organik, diharapkan dapat menurunkan ancaman terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan.

Solusi teknologinya terdiri dari pemberian pakan berupa sampah organik terpilah, yang sebelumnya melalui proses pemilahan, ke larva BSF yang telah dipelihara di unit pembiakan (nursery). Larva tumbuh dengan memakan sampah dan mengurangi berat sampah. Di akhir proses, larva dipanen, dan jika perlu dapat diolah lebih lanjut menjadi produk pakan ternak yang sesuai. Residu sampah juga dapat diolah lebih lanjut dan memiliki potensi jual untuk digunakan sebagai bahan pembenah tanah dengan karakter seperti pupuk.

Buku panduan ini disiapkan untuk dapat langsung dipraktikkan. Selain itu juga menjelaskan bahan-bahan dan peralatan yang dibutuhkan, lengkap dengan langkah kerja, mirip seperti buku memasak yang dilengkapi dengan resep dan cara memasak. Termasuk memuat semua informasi yang dibutuhkan, untuk mengembangkan dan mengoperasikan fasilitas pengolahan sampah dengan larva Black Soldier Fly dalam skala sedang, yang dapat mengolah 5 ton sampah per hari. Buku ini juga memuat skenario untuk skala lain, yang jumlah pekerjaannya lebih sedikit. Rencana kerja dan instruksi untuk tiap skenario tersebut, tersedia melalui tautan web.

Penting untuk disebutkan bahwa pendekatan yang disajikan di buku panduan ini hanya salah satu

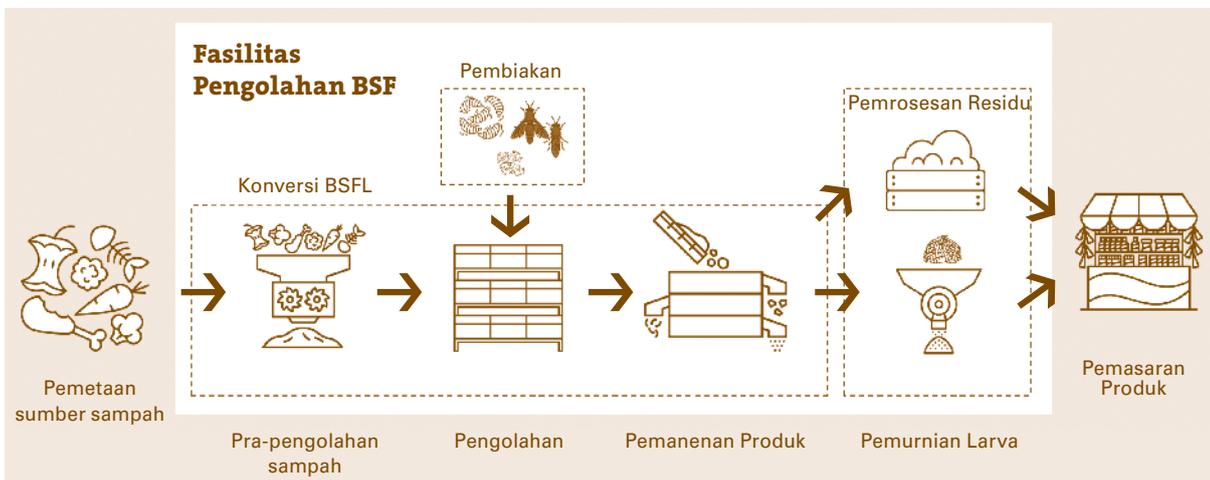
dari berbagai pendekatan yang ada. Dibuat berdasarkan pada peralatan yang tersedia secara lokal dan tanpa atau otomatisasi yang terbatas. Operasional yang terdapat pada buku ini telah terbukti berhasil untuk diaplikasikan, tetapi langkah-langkah tertentu dapat diganti atau disesuaikan, tergantung pada tujuan yang diharapkan atau pengalaman.

Berdasarkan pendekatannya, buku panduan ini memiliki sasaran pembaca dengan pengetahuan dasar atau masih minim tentang pengolahan sampah pada umumnya, dan penggunaan teknologi Black Soldier Fly pada khususnya, yang tertarik untuk bekerja dengan sampah dan mengaplikasikan serta mengoperasikan fasilitas BSF. Buku panduan ini juga dapat sangat berguna untuk pelaku pengolahan sampah organik dengan BSF dan tertarik memperoleh pandangan lain tentang bagaimana melakukannya.

### 1.3 Petunjuk penggunaan buku panduan ini

Panduan ini disusun berdasarkan tiga unit proses utama, yang menjadi kunci dari fasilitas pengolahan sampah organik dengan BSF (Gambar 1-1).

1. Unit pembiakan BSF
2. Unit konversi sampah dengan BSFL (pra-pengolahan, pengolahan, dan pemanenan)
3. Unit pengolahan lanjut (pemurnian larva dan pemrosesan residu)



Gambar 1-1: Unit-unit dalam sistem pengolahan dengan BSF

Meskipun pemetaan sumber sampah yang tepat adalah hal yang sangat penting dilakukan untuk fasilitas BSF dapat berfungsi dengan baik, namun aspek tersebut tidak dibahas secara detail di buku panduan ini.

Pada buku ini, anda akan menemukan beberapa ikon. Ikon tersebut menunjukkan isu pada bagian tertentu, informasi dasar, atau akses ke materi informasi lebih lanjut.

- 
**Sorotan terhadap isu yang sangat penting**
- 
**Sorotan informasi detail untuk pembaca yang sekiranya tertarik, tapi tidak diharuskan untuk dibaca**
- 
**Tautan untuk informasi yang lebih detail, templat, dan lembar data**
- 
**Tautan untuk seri video kuliah online tentang pengolahan sampah organik dengan BSF**



## Bab 2:

# Pengantar pengolahan sampah organik dengan BSF

Bab ini membahas lebih detail tentang siklus hidup alami Black Soldier Fly. Pemahaman terhadap siklus hidup BSF juga dapat membantu untuk memahami, mengapa BSF dinilai sebagai jenis serangga yang tepat untuk pengelolaan sampah organik. Selain itu, pemahaman ini juga dapat memudahkan dalam mempelajari, bagaimana siklus ini dapat “direkayasa” untuk meningkatkan manfaat yang didapat dari efisiensi konversi sampah dan panen produk, baik secara kuantitas maupun kualitas.

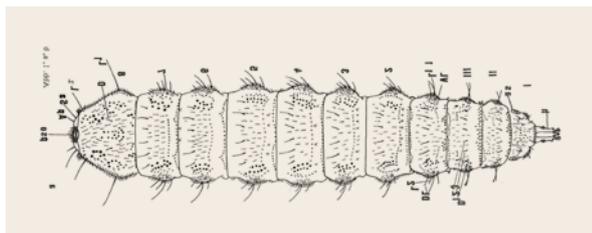
### 2.1 Black Soldier Fly

Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, termasuk dalam Ordo Diptera, Familieluarga dipteran Stratiomyidae. Jenis serangga ini dapat ditemui di seluruh dunia yang wilayahnya beriklim tropis dan subtropis pada garis lintang 40°S dan 45°U (Gambar 2-1).



Gambar 2-1: Wilayah persebaran Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*

Dalam siklus hidup BSF, telur menandakan permulaan siklus hidup sekaligus berakhirnya fase hidup sebelumnya, di mana seekor lalat dapat mengeluarkan sekelompok telur/meletakkan satu kelompok telur (juga biasa disebut ovipositing). Satu lalat betina dapat meletakkan sekitar 400 hingga 800 telur di dekat bahan organik yang membusuk dan memasukkannya ke dalam rongga-rongga yang kecil, kering, dan terlindung. Lalat betina tersebut akan mati tidak lama setelah bertelur. Telur-telur tersebut diletakkan dekat dengan bahan organik yang membusuk supaya saat menetas nanti, larva-larvanya dapat dengan mudah menemukan sumber makanan terdekat yang berada di



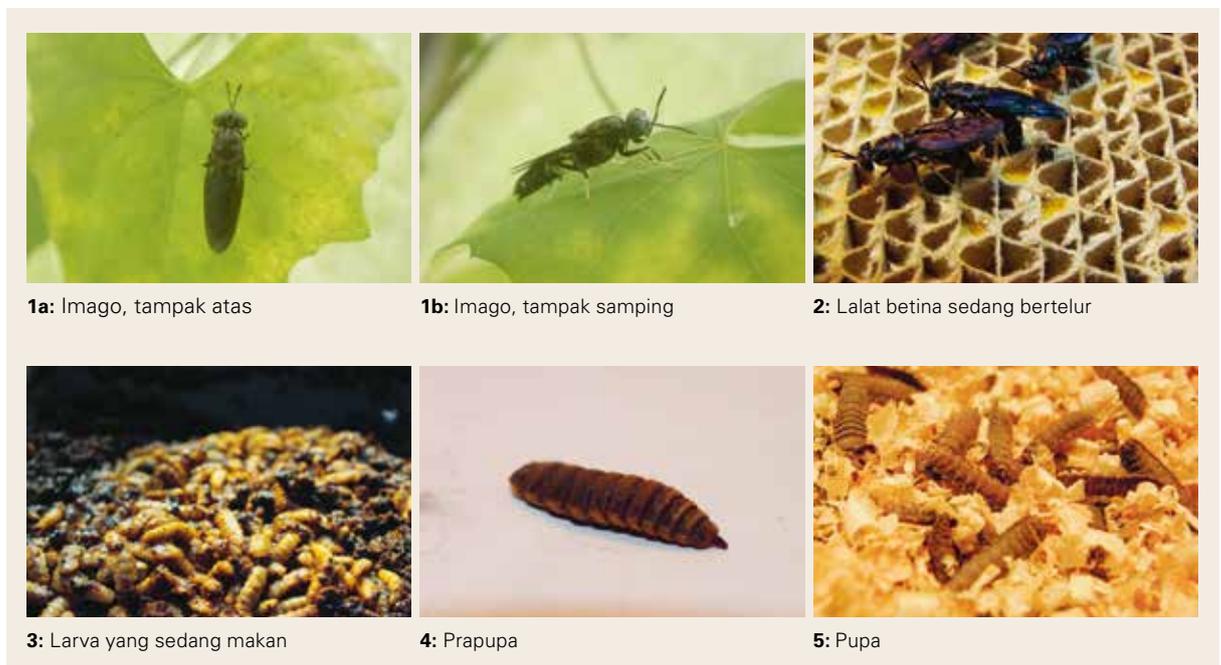
Gambar 2-2: Gambar larva Black Soldier Fly (Schremmer, 1986)

sekitar mereka. Tempat dalam rongga-rongga yang terlindung dari pengaruh lingkungan dapat menjaga telur dari ancaman predator, dan sinar matahari langsung yang dapat menghilangkan kadar air pada telur.

Pada umumnya, telur-telur tersebut menetas setelah empat hari. Larva yang baru menetas, berukuran sangat kecil sehingga nyaris tidak terlihat, akan segera mencari makan dan memakan sampah organik di dekatnya. Larva akan memakan bahan organik yang membusuk tersebut dengan rakus, sehingga ukuran tubuhnya yang awalnya hanya beberapa millimeter akan bertambah panjangnya menjadi 2.5 cm dan lebarnya 0.5 cm, serta warnanya menjadi agak seperti krem. Perbedaan fase hidup BSF dapat dilihat di Gambar 2-2 dan Gambar 2-3.

Dalam kondisi optimal dengan kualitas dan kuantitas makanan yang ideal, pertumbuhan larva akan berlangsung selama 14-16 hari. Namun, larva BSF merupakan serangga yang memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi, yang yang elastic dan mampu memperpanjang siklus hidupnya dalam kondisi yang kurang menguntungkan sekalipun. BSF hanya makan saat masih di fase larva. Maka, pada fase perkembangan larva inilah mereka menyimpan cadangan lemak dan protein hingga cukup bagi mereka untuk berpupa, menetas menjadi lalat, menemukan pasangan, kawin, dan bertelur (untuk lalat betina) sebelum akhirnya mati.

Setelah melalui lima fase larva (lima instar), larva tersebut sampai ke fase larva terakhir, yaitu prapupa. Saat berubah menjadi prapupa, struktur mulut larva akan berubah menjadi struktur yang



Gambar 2-3: Fase hidup Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, Foto: Nandayure Studt Solano (1a, 1b), Samuel Blyth (2, 3, 4), Sandec (5) bentuknya seperti kait dan warnanya menjadi cokelat tua hingga abu-abu arang. Mulut berbentuk kait ini memudahkan prapupa untuk keluar dan berpindah dari sumber makanannya ke lingkungan baru yang kering, bertekstur seperti humus, teduh, dan terlindung atau aman dari predator. Di tempat inilah imago muncul dari pupa dan kemudian terbang tanpa adanya halangan berarti.

Pupasi merupakan proses perubahan dari pupa menjadi lalat. Fase pupasi dimulai saat prapupa menemukan tempat yang cocok bagi tubuhnya dan berhenti bergerak serta menjadi kaku. Supaya proses pupasi berhasil, sebaiknya tempat pupasi memiliki kondisi lingkungan yang tidak banyak mengalami perubahan, atau dengan kata lain tempat yang selalu hangat, teduh, dan kering (terlindung dari hujan). Pupasi memerlukan waktu sekitar dua sampai tiga minggu. Berakhirnya pupasi ditandai dengan keluarnya lalat dari cangkang pupa. Proses keluarnya lalat ini berlangsung sangat singkat. Dalam waktu kurang dari lima menit, lalat sudah berhasil membuka bagian pupa yang dulunya merupakan bagian kepala, kemudian merayap keluar, mengeringkan dan mengembangkan sayapnya lalu terbang.

Setelah keluar, lalat hidup sekitar satu minggu. Dalam masa hidupnya yang singkat, lalat akan mencari pasangan, kawin, dan bertelur (untuk lalat betina). Saat menjadi lalat, BSF tidak makan dan hanya membutuhkan sumber air dan permukaan yang lembab untuk menjaga tubuhnya agar tetap terhidrasi. Dalam fase hidup ini, yang terpenting adalah tersedianya cahaya alami yang cukup dan suhu yang hangat (25-32°C). Lingkungan yang lembab dapat memperpanjang lama hidup lalat sehingga meningkatkan peluang keberhasilan reproduksi. Menurut hasil penelitian, lalat BSF lebih memilih melakukan perkawinan di pagi hari yang terang. Setelah itu, lalat betina mencari tempat yang cocok untuk meletakkan telurnya, seperti yang telah dijelaskan di atas.

Kondisi lingkungan dan sumber makanan yang optimal bagi larva adalah sebagai berikut:

- **Iklim hangat:** suhu idealnya adalah antara 24°C hingga 30°C. Jika terlalu panas, larva akan keluar dari sumber makanannya untuk mencari tempat yang lebih sejuk. Jika terlalu dingin, metabolisme larva akan melambat. Akibatnya, larva makan lebih sedikit sehingga pertumbuhannya pun menjadi lambat.
- **Lingkungan yang teduh:** larva menghindari cahaya dan selalu mencari lingkungan yang teduh dan jauh dari cahaya matahari. Jika sumber makanannya terpapar cahaya, larva akan berpindah ke lapisan sumber makanan yang lebih dalam untuk menghindari cahaya tersebut.
- **Kadar air pada makanan:** sumber makanan harus cukup lembab, dengan kadar air antara 60% sampai 90% supaya dapat dicerna oleh larva. Dalam siklus hidup yang direkayasa, kami menargetkan kadar air sebesar 70-80%.
- **Kebutuhan nutrisi pada makanan:** substrat yang kaya akan protein dan karbohidrat akan menghasilkan pertumbuhan yang baik bagi larva. Penelitian yang sedang berlangsung menunjukkan bahwa substrat yang telah melalui proses penguraian oleh bakteri atau jamur, kemungkinan besar akan lebih mudah dicerna oleh larva.
- **Ukuran partikel makanan:** karena larva tidak memiliki bagian mulut untuk mengunyah makanan, maka nutrisi akan mudah diserap jika substratnya berupa bagian-bagian kecil atau dalam bentuk cair seperti bubur.

## 2.2 Mengapa menggunakan Black Soldier Fly?

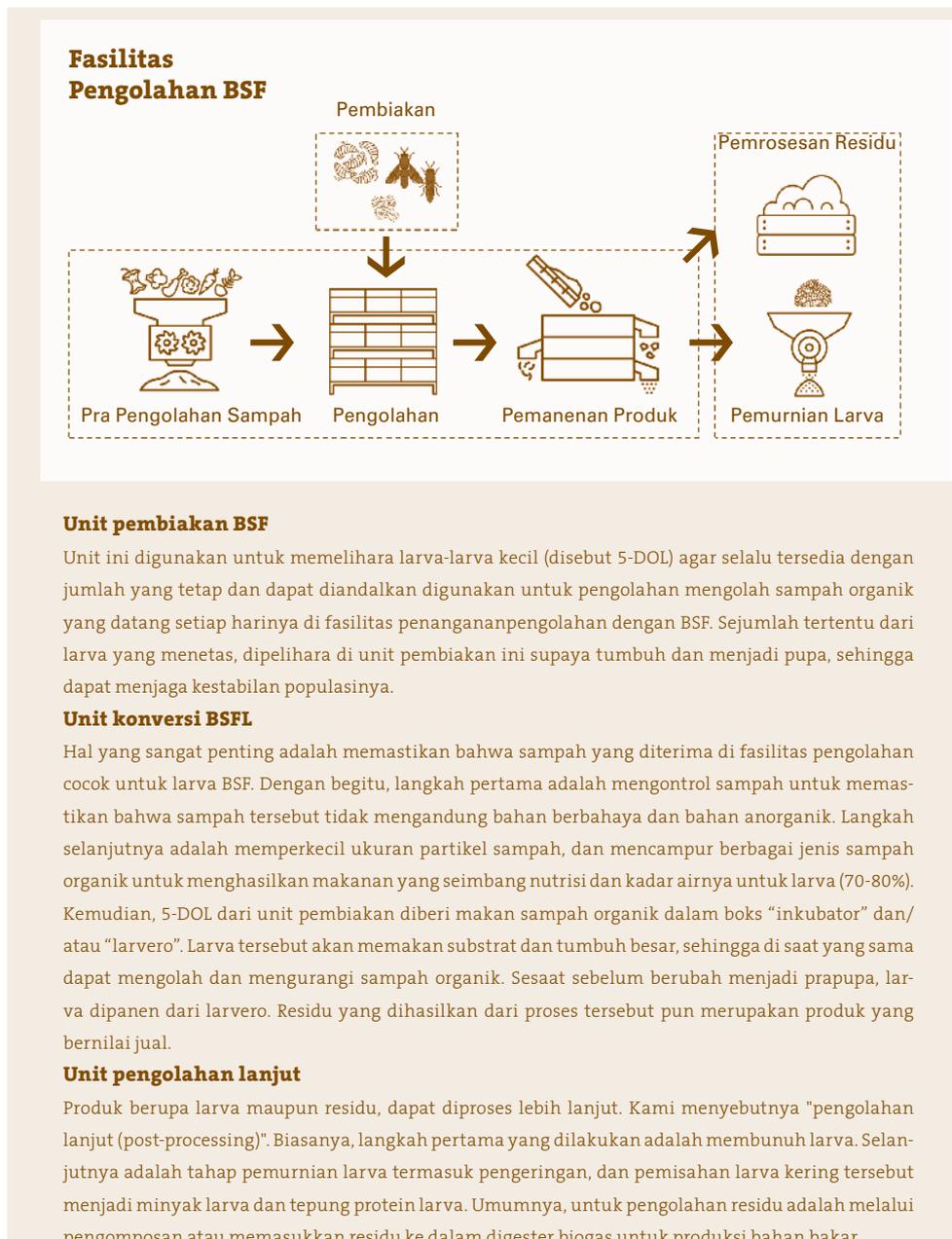
Ada beberapa atribut utama yang menjadikan BSF sebagai organisme yang menjanjikan untuk dikelola dan "direkayasa" sehingga dapat digunakan sebagai teknologi yang menarik, dalam pengolahan sampah organik dari sudut pandang pengelola sampah dan pelaku bisnis. Berikut ini adalah beberapa alasan utamanya:

- Biomassa sampah organik diubah menjadi larva dan residu. Larva mengandung  $\pm 35\%$  protein dan  $\pm 30\%$  lemak kasar (berdasarkan berat kering). Protein serangga ini berkualitas tinggi dan menjadi sumber pakan penting untuk pakan ternak. Uji coba pakan telah membuktikan bahwa protein tersebut dapat menjadi alternatif yang cocok sebagai pengganti tepung ikan.
- Pemberian pakan berupa sampah organik ke larva terbukti dapat menonaktifkan bakteri patogen (penyebab penyakit), misalnya Salmonella spp. Berarti bahwa risiko penularan penyakit, baik antar hewan maupun antara hewan dan manusia dapat diminimalisir, saat menggunakan teknologi ini untuk peternakan ataupun pengolahan limbah hewan (misalnya kotoran ayam atau sampah dari rumah pemotongan hewan). Akan tetapi, pengurangan risiko tersebut akan tercapai, terutama melalui reduksi sampah ( $\pm 80\%$ ) daripada melalui penonaktifan patogen.
- Reduksi sampah dapat mencapai 80% berdasarkan berat basah, telah dibuktikan melalui penelitian. Jika pengolahan BSF diterapkan pada atau dekat dengan sumber timbulan sampah organik, biaya untuk pengangkutan sampah, dan kebutuhan ruang untuk TPA dapat dikurangi secara signifikan. Pengolahan sampah organik seperti itu selanjutnya dapat juga mengurangi
- pembuangan sampah secara terbuka atau open dumping (tanpa adanya perlakuan apapun), yang merupakan kondisi yang sangat tidak menguntungkan untuk lingkungan, terutama di daerah berpenghasilan rendah dan menengah.
- Residu adalah material yang mirip dengan kompos, mengandung unsur hara dan bahan organik. Bila digunakan dalam pertanian, dapat membantu memperbaiki kondisi tanah.
- Tingkat konversi sampah menjadi biomassa yang tinggi sebesar 15-20% berdasarkan berat basah telah dibuktikan, yang merupakan hasil yang memuaskan apabila dilihat dari sudut pandang bisnis.

- Tidak memerlukan teknologi canggih untuk mengoperasikan fasilitas BSF. Hal ini cocok untuk daerah berpenghasilan rendah, yang sebagian besar hanya mengandalkan teknologi sederhana dan tenaga kerja tanpa keterampilan.

### 2.3 Merekayasa siklus hidup BSF

Dalam fasilitas pengolahan BSF yang dirancang secara khusus, kita dapat membagi menjadi beberapa unit pengolahan, seperti pada Gambar 2-4 berikut.



Gambar 2-4: Unit-unit di fasilitas pengolahan dengan BSF

## 2.4 Tindakan keselamatan dan kebersihan saat bekerja dengan BSF dan sampah organik

Selama pengoperasian fasilitas BSF, tindakan untuk melindungi kesehatan pekerja serta hewan yang dipelihara juga perlu untuk dilakukan.

Walaupun pengoperasian fasilitas BSF tidak menimbulkan risiko bahaya yang tinggi terhadap kesehatan, namun para pekerja akan tetap terpapar suara bising, debu atau emisi gas serta patogen yang dapat masuk ke fasilitas melalui sampah organik. Oleh karena itu, pakaian dan peralatan pelindung yang memadai, penting untuk selalu tersedia bagi para pekerja. Meskipun mengenakan sepatu bot atau sarung tangan akan kurang menarik untuk dilakukan pekerja, terutama di iklim tropis, sehingga hal tersebut menjadi tanggung jawab bagi operator untuk mendorong tindakan tersebut dan memberikan contoh yang baik.

Seperti di peternakan pada umumnya, menjaga kebersihan juga harus dilakukan di fasilitas BSF. Alasan utamanya adalah mencegah penyebaran penyakit dan menjauhkan hama. Karenanya, kegiatan rutin untuk menjaga kebersihan harus dimasukkan ke dalam rencana kerja. Termasuk pembersihan rutin pada permukaan kerja dengan alkohol serta penyimpanan pakan ternak atau tindakan untuk mencegah tikus atau burung memasuki area fasilitas. Menyimpan peralatan pada tempatnya di semua area fasilitas dan pembersihan peralatan harian harus menjadi kegiatan standar. Fasilitas tersebut juga harus memiliki konsep pengelolaan sampah yang baik, yang memastikan bahwa bahan yang berpotensi terkontaminasi dapat disimpan dan dibuang dengan aman.

Jadwal yang digunakan di buku panduan ini, semuanya mencakup kegiatan rutin untuk menjaga kebersihan dan keselamatan di fasilitas. Kami merekomendasikan agar operator memberikan penekanan yang sama pada pelaksanaan tugas-tugas ini sebagaimana yang mereka lakukan pada tugas yang terkait langsung dengan operasional BSF.

Berikut ini adalah beberapa standar perlengkapan keselamatan dan kebersihan di fasilitas BSF:



**Sapu dan pengki**



**Masker**



**Jas lab**



**Sarung tangan**



**Sepatu boot**



**Masker wajah**



**Sarung tangan karet tebal**



**Sarung tangan tangan panas**



**Sikat gosok**



**Mesin cuci**



**Larutan alkohol**







Mengerok telur dari media

Menimbang berat telur dengan

Tempat telur diletakkan pada

### Penetasan telur dan pemberian pakan larva

Unit berupa kerangka untuk meletakkan tempat telur dan boks penetasan (nursery box) berisi pakan untuk larva yang baru menetas disebut "hatchling shower" (Gambar 3-3). Selama beberapa hari, telur akan menetas menjadi larva, dan larva tersebut akan terus-menerus jatuh ke dalam boks penetasan di bawahnya sehingga mereka dapat segera makan. Boks penetasan ini diganti secara rutin. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan larva dengan umur yang sama. Meletakkan tempat telur yang baru, bersama dengan tempat telur yang lebih tua, akan memastikan larva menetas secara terus menerus seperti "shower" dan jatuh ke dalam boks penetasan. Pakan berkualitas tinggi dalam boks penetasan terbuat dari campuran pakan ayam (untuk starter ayam pedaging) dan air. Pakan ini merupakan pakan yang siap digunakan dan mengandung nutrisi yang baik untuk pertumbuhan larva yang cepat, meskipun harganya relatif mahal. Bahan pakan alternatif lain yang dapat digunakan, yang biasanya tersedia secara gratis, yaitu dari sisa olahan kedelai (misalnya susu kedelai), olahan susu (misalnya susu bubuk kadaluarsa) dan/atau olahan biji-bijian (misalnya roti kadaluarsa). Kandungan nutrisi campuran pakan tersebut sebaiknya tetap stabil, karena jadwal pemberian pakan dilakukan secara ketat dan teratur. Campuran pakan ini harus memiliki kadar air sekitar 70% supaya menghasilkan tekstur substrat yang ideal untuk pakan larva.

Pengelolaan sampah dengan larva BSF paling mudah dilakukan dengan larva yang seragam (memiliki umur dan ukuran yang sama). Hal ini memungkinkan untuk menghasilkan perencanaan yang lebih baik pada jumlah sampah yang masuk ke unit pengolahan, laju konversi, dan waktu panen. Dengan hatchling shower, jumlah dan umur larva dalam satu boks penetasan dapat dikontrol dan ditentukan. Frekuensi penggantian boks penetasan dapat menentukan keseragaman kelompok larva. Semakin sering diganti, semakin tinggi juga tingkat keseragaman larva. Larva makan di boks penetasan yang sama selama lima hari setelah menetas dan menjadi 5-DOL. 5-DOL tersebut kemudian dipanen dari boks penetasan, lalu dihitung, dan sebagian besarnya kemudian dipindahkan ke unit pengolahan BSF, di mana 5-DOL tersebut dimasukkan ke substrat.



Gambar 3-3: Hatchling shower: kelompok telur yang dipanen dimasukkan ke dalam tempat telur di atas boks berisi pakan untuk larva yang baru menetas. Setiap warna klip kertas mewakili hari yang berbeda dalam seminggu

Karena menghitung semua larva kecil tersebut terlalu rumit dan menghabiskan banyak waktu, maka jumlah 5-DOL ditentukan dengan menghitung jumlah larva dalam sampel kecil (~2 g), yang kemudian diekstrapolasi berdasarkan berat total seluruh 5-DOL.



Boks penetasan (hatchling container) di bawah hatchling shower diganti dengan yang baru secara rutin (setiap satu sampai tiga hari). Frekuensi tersebut menentukan keseragaman kelompok larva.



Gambar 3-4: Nursery container dalam transfer container

Hanya sedikit dari keseluruhan 5-DOL (sekitar 1-2%) yang disimpan di unit pembiakan dan jumlah ini bergantung pada jumlah sampah yang akan diolah dan performa nursery (unit pembiakan). Jika tingkat kelangsungan hidup dinilai tinggi dan jumlah telur yang dihasilkan per betina tergolong banyak, maka jumlah 5-DOL yang perlu dipelihara di unit pembiakan akan semakin sedikit. Larva-larva tersebut dipelihara dalam nursery container, di mana mereka terus diberi pakan dengan campuran pakan yang baik sampai berubah menjadi prapupa dalam kurun waktu sekitar tiga minggu setelah menetas dari telur. Semua larva dalam satu nursery container akan berubah pada waktu yang sama karena umur larva juga sama. Prapupa akan meninggalkan sumber makanan tersebut untuk mencari tempat yang kering, yang lebih cocok untuk melakukan pupasi. Karenanya, nursery container diletakkan dalam boks transfer (transfer container) yang telah ditambahkan bahan yang kering dan mampu menyerap air (Gambar 3-4).

### Pupasi

Prapupa yang telah keluar dan masuk ke boks transfer, lalu dipanen dan dipindahkan ke boks pupasi. Karena prapupa merasa terganggu jika terlalu dekat dengan prapupa lainnya, maka di boks tersebut ditambahkan substrat mirip tanah yang lembab (kompos), di mana prapupa dapat mengubur dirinya (Gambar 3-5).



Gambar 3-5: Prapupa ditambahkan ke dalam boks pupasi berisi media pupasi



Gambar 3-6: Boks pupasi di rak pupasi

Kepadatan prapupa dalam boks pupasi mempengaruhi seberapa cepat prapupa akan mengeraskan tubuhnya untuk mulai berubah menjadi pupa. Untuk membantu berlangsungnya proses pupasi, pertama-tama boks pupasi ditempatkan di rak pupasi (Gambar 3-6), di mana prapupa terus ditambahkan dalam jumlah tertentu ke dalam boks pupasi selama 5 hari. Untuk proses pupasi, pupa dimasukkan ke dalam kandang yang bagian dalamnya benar-benar gelap (Gambar 3-7). Kami menyebutnya "dark cage". Selain lingkungan yang gelap, kandang ini juga memberikan perlindungan yang cukup bagi pupa dari perubahan kondisi lingkungan luar (misalnya kelembapan, suhu, pergerakan udara, dll.). Setelah dua sampai tiga minggu, media pupasi telah berangsur mengering, sehingga memudahkan lalat untuk merayap keluar dari cangkang pupa ke bagian atas media dan terbang keluar dari boks pupasi. Tapi, lalat tersebut masih berada di kandang gelap. Karena gelapnya kandang, lalat yang menetas tidak akan kawin, tetapi tetap diam. Dengan demikian, lalat yang berada di kandang gelap menjadi sumber lalat "baru", yang mana setelah dipaparkan dengan cahaya, mereka akan mulai berkembang biak.

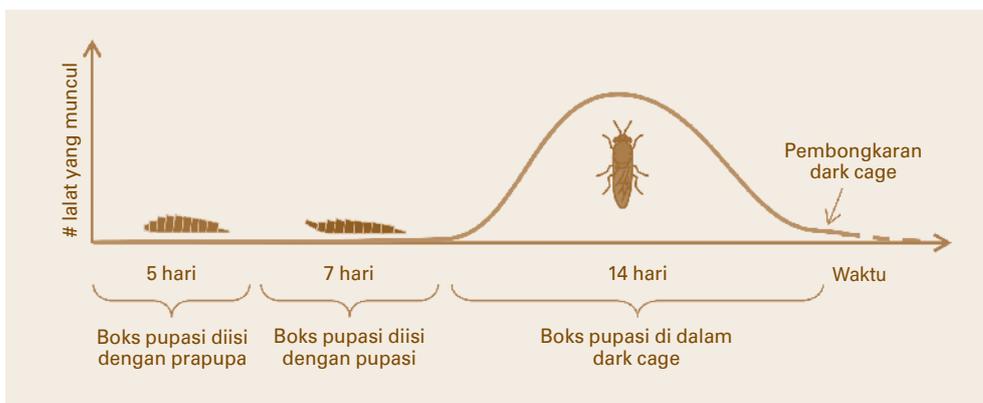


Gambar 3-7: Boks pupasi yang tersusun menyilang di

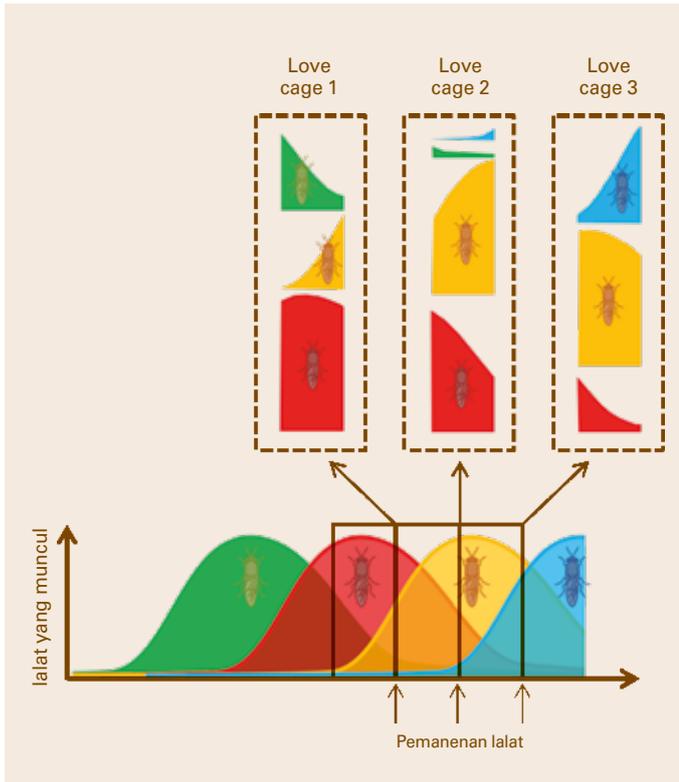


Gambar 3-8: Love cage yang sedang diisi dengan

Kemunculan lalat dimulai dua belas hari setelah pupa dimasukkan ke dalam boks pupasi, lalu frekuensi kemunculannya mengikuti kurva berbentuk lonceng dan diakhiri dengan sebagian kecil lalat yang muncul terlambat setelah 25 hari (Gambar 3-9).



Gambar 3-9: Dinamika pupasi dan kemunculan lalat Black Soldier Fly



Gambar 3-10: Komposisi tiga love cage yang diisi dengan lalat dari beberapa dark cage setiap interval dua hari

### Perkawinan (mating)

Lalat yang muncul, dipanen dari dalam dark cage dan dipindahkan ke love cage. Hal ini dilakukan dengan cara menyambungkan corong dark cage ke dalam love cage, yang tergantung pada kerangka yang dapat dipindahkan (mobile frame). Karena menjadi tempat perkawinan lalat, maka kami menyebutnya "love cage" (Gambar 3-8). Lampu yang terpasang pada mobile frame dan sejajar corong love cage, akan menarik lalat untuk terbang berpindah dari dark cage ke dalam love cage. Satu love cage, secara berurutan disambungkan dengan tiga sampai empat dark cage untuk memanen semua lalat yang muncul dari dark cage tersebut (Gambar 3-10). Metode ini dilakukan supaya mendapatkan kepadatan (densitas) lalat yang konstan dan stabil dalam love cage. Selain itu, semua lalat yang dipanen tersebut juga memiliki umur yang hampir sama. Ada manfaatnya apabila love cage berisi lalat yang berumur sama, yaitu lalat tersebut akan kawin dan bertelur pada waktu yang sama, dan oleh karena itu, jumlah telurnya akan bisa diprediksi sehingga pembiakan yang dilakukan dapat dilakukan dengan lebih efisien. Love cage dilengkapi dengan kain basah agar lalat tidak dehidrasi, eggies dan boks berisi atraktan (cairan berbau). Maka, disini siklus pembiakan pun berakhir.



### Sumber cahaya untuk love cage

Supaya reproduksi berhasil, Black Soldier Flies membutuhkan jenis dan intensitas cahaya tertentu. Idealnya, cahaya tersebut berasal dari sinar matahari alami. Dalam kasus di mana hal ini tidak memungkinkan terjadi, baik karena variasi musim yang disebabkan ketinggian tempat atau karena fasilitas harus dioperasikan di ruangan tertutup dan tanpa jendela, sinar matahari harus diganti (atau dibantu) dengan cahaya buatan (lampu).

Saat memilih jenis lampu, perlu diperhatikan komposisi spektrum dan intensitas cahaya. Spektrum cahaya dengan nilai tinggi, berada pada rentang warna biru (~440 nm) dan hijau (~540 nm), menunjukkan tingkat reproduksi yang baik. Selain panjang gelombang, daya lampu juga penting. Daya lampu diukur dalam  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  dan berkaitan dengan jarak ke sumber cahaya. Dari penelitian, kami mendapatkan hasil yang baik dengan daya lampu pada kisaran UV 210  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  dan iluminasi 3.000-6.000 lx pada jarak 60 cm<sup>1</sup>.

Penting pula untuk memastikan ritme siang-malam (panjang siang dan malam dalam unit jam/hari), dengan durasi iluminasi antara 6 hingga 18 jam per hari.

<sup>1</sup> Macavei L, Benassi G, Stoian V, et al. (2020) Optimization of *Hermetia illucens* (L.) egg laying under different nutrition and light conditions. PloS ONE 15: e0232144, Liu Z, Najjar-Rodriguez A, Minor M, et al. (2020) Mating success of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), under four artificial light sources. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology 205: 111815.

### 3.2 Kegiatan di unit pembiakan BSF

Langkah-langkah kerja serta peralatan dan bahan yang digunakan di unit pembiakan BSF, disajikan pada subbab ini. Sebagian besar bahan dan peralatan yang digunakan, tersedia secara lokal dan dapat dibeli di toko hardware. Beberapa peralatan juga ada yang dibuat khusus untuk pengoperasian tersebut. Dimensi peralatan ini, disajikan dalam deskripsi di bawah setiap alat tersebut.



**Gambar teknis untuk peralatan yang dibuat khusus (custom-made),** yang digunakan dalam langkah-langkah operasional di unit pembiakan BSF, dapat ditemukan pada tautan ini.



#### 3.2.1 Fase lalat

Setiap love cage diisi dengan lalat yang baru keluar dari dark cage. Di dalam love cage, lalat diberikan air untuk minum dan media untuk bertelur. Love cage yang ditunjukkan di sini dapat menampung hingga 10,000 lalat yang setara dengan 84 cm<sup>3</sup> per lalat. Lalat tersebut akan tinggal di dalam love cage selama 4 hari, dimana mereka akan kawin dan bertelur.

#### Peralatan dan bahan yang dibutuhkan:



**Love cage**  
(75x75x150cm)



**Gantungan bambu dan binder clip**



**Kerangka mobile love cage yang dilengkapi lampu atraktan**



**Lampu atraktan**



**Keranjang peneduh**



**Boks air**



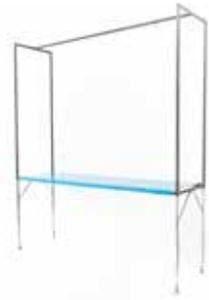
**Media peneluran**



**Boks atraktan**



**Tongkat penggantung love cage**



**Meja love cage**



**Perangkap semut**



**Timbangan**  
(mak. 35kg, akurasi 0.5g)



**Etil asetat**



**Botol untuk sampel lalat**



**Timbangan presisi**  
(mak. 2kg, akurasi 0.01g)



**Media atraktan**

### Langkah kerja:

**Langkah 1:** Ambil love cage yang sudah bersih. Gantungkan ujung cincin love cage ke gantungan bambu, kemudian timbang berat love cage beserta gantungannya.

**Langkah 2:** Pasang love cage ke mobile frame dan posisikan love cage ke depan dark cage pertama yang akan dipanen. Sambungkan corong love cage dan dark cage menggunakan binder klip. Nyalakan lampu pada mobile frame dan dengan perlahan gerakkan dark cage agar lalat di dalamnya keluar ke love cage.



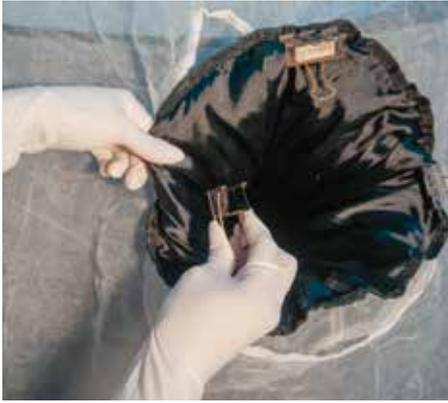
Memasang love cage ke gantungan bambu  
**(Langkah 1)**



Menggunakan tongkat penggantung untuk memasang love cage ke mobile frame  
**(Langkah 2)**

**Langkah 3:** Setelah 30 menit, pisahkan kedua corong kandang dan ikat tiap corong dengan tali, kemudian timbang love cage yang telah terisi lalat dari dark cage pertama dengan gantungannya. Pasang love cage kembali ke mobile frame, dan ulangi proses yang sama yaitu menyambung dan melepas kedua corong, untuk kemudian ditimbang setelah 30 menit, hingga love cage penuh dengan lalat (lalat sudah hampir menutupi seluruh sisi dan tidak berkumpul pada bagian bawah love cage).

**Langkah 4:** Lepas love cage dari dark cage yang terakhir dipanen dan matikan lampu mobile frame. Tutup corong menggunakan tali dan timbang berat love cage yang sudah terisi lalat dengan gantungannya. Gantungkan love cage di atas meja love cage menggunakan tongkat penggantung.



Menyambungkan corong dark cage ke corong love cage (**Langkah 2**)



Cahaya lampu menarik lalat keluar dari dark cage ke love cage



Menimbang love cage setelah terisi lalat (**Langkah 4**)

**Langkah 5:** Siapkan boks atraktan: isi boks kosong atraktan tersebut dengan 100 gram lalat mati, 200 gram residu dari nursery larvero, 200 gram residu dari atraktan lama dan 1 liter air. Campur hingga merata.

**Langkah 6:** Siapkan 10 eggies bersih, yang terbuat dari kayu yang telah dipotong tipis untuk media peneluran: ambil kayu eggies dengan dan tanpa paku payung, kemudian susun selang-seling, kelima kayu tanpa dan dengan paku payung hingga menyusun 1 eggies (2 kayu dengan paku payung dan 3 kayu tanpa paku payung). Tali kedua ujung susunan eggies ini dengan karet. Siapkan 10 eggies untuk tiap love cage.



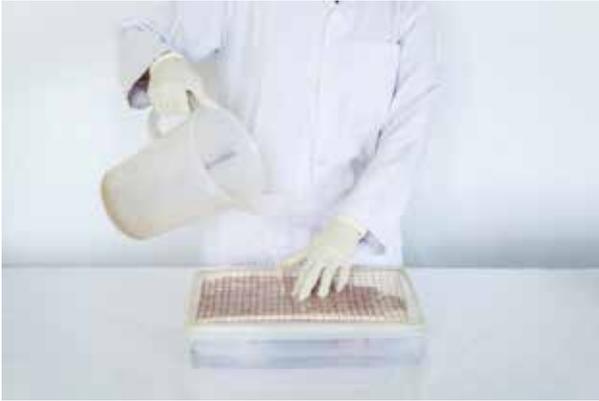
Bahan untuk membuat atraktan (**Langkah 5**)



Eggies yang terbuat dari kayu, dipasangi paku payung untuk membuat jarak antar kayu dan memberikan ruang untuk peletakan telur.

**Langkah 7:** Siapkan boks air (water container): isi boks bersih menggunakan air keran hingga hampir penuh. Ambil tutup yang sudah dilubangi di kedua ujungnya, kemudian pasang kain bersih dengan menyelipkan kedua ujung kain ke kedua sisi tutup. Kain tersebut harus berbentuk datar di atas tutup, sedangkan kedua ujungnya berada di dalam boks dan menyentuh air sehingga air dapat terserap ke seluruh bagian kain, tambahkan sedikit air ke bagian atas tutup

**Langkah 8:** Buka resleting pada love cage dengan hati-hati, ambil 20 lalat menggunakan botol kecil, kemudian letakkan boks atraktan ke dalam love cage dan susun secara menyilang 10 eggies di atasnya. Tutup boks atraktan dan eggies dengan keranjang peneduh (shade basket) kemudian tutup resleting love cage.



Menambahkan air ke boks air untuk melembabkan kain  
(Langkah 7)



Susunan eggies, box air, keranjang pelindung, dan boks atraktan di dalam love cage berisi lalat (Langkah 8)

**Langkah 9:** Setelah resleting love cage ditutup, beri label di atas meja love cage, tepat di bawah love cage yang baru dipasang, bertuliskan tanggal pemasangan. Love cage selanjutnya di atur sehingga tampak seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Kaki meja love cage yang dipasangi perangkat semut  
(Langkah 9)



Love cage yang baru terpasang  
(Langkah 9)



### STANDAR PAKAIAN PELINDUNG UNTUK PEKERJA:

- Hati-hati dengan lampu pada mobile frame untuk menghindari luka bakar.
- Gunakan jas lab dan sarung tangan lateks ketika menyiapkan atraktan.



### POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:

- Dengan menimbang love cage tiap kali selesai disambungkan ke dark cage (Langkah 1-3), maka tingkat kemunculan lalat dari dark cage dan total jumlah lalat yang terpanen dalam love cage dapat dipantau. Hal tersebut dilakukan dengan cara mengambil sampel 20 lalat dari love cage dan dimasukkan ke botol kecil. Lalu botol berisi 20 lalat dibawa ke laboratorium, dimana botol tersebut dibalikkan posisinya pada botol yang lebih kecil, yang berisi sumbat gabus yang telah diberi 10-15 tetes etil asetat. Setelah itu, diamkan selama 30 detik sampai lalat berhenti bergerak, sehingga lalat dapat dengan mudah ditimbang dengan timbangan presisi. Hitung jumlah lalat di dalam love cage dengan cara membagi selisih love cage kosong dan penuh lalat dengan berat rata-rata seekor lalat.



### Modul fase lalat dari seri video kuliah online

tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



### 3.2.2 Fase Telur

Love cage dibongkar setelah empat hari digunakan, karena sudah tidak ada lagi telur yang akan diletakkan oleh lalat setelah periode ini, sebab kebanyakan lalat betina akan mati dalam waktu satu minggu. Eggies diambil dari love cage dan telur pada permukaan eggies kemudian dikerok. Selanjutnya, telur dimasukkan ke tempat telur (misalnya saringan teh), yang digantungkan pada hatchling shower, dimana larva yang baru menetas akan jatuh ke dalam boks penetasan. 10,000 ekor lalat dalam satu love cage dapat menghasilkan sekitar 75 gram telur. Kapasitas satu tempat telur adalah 40 gram, yang artinya sekitar dua tempat telur dapat diisi dengan telur yang dihasilkan dari satu love cage. Boks penetasan diganti secara rutin untuk menghasilkan larva yang berumur sama, dimana larva tersebut akan makan di dalam boks penetasan yang sama, sampai larva tersebut siap digunakan untuk pengolahan sampah organik. Setiap boks penetasan dapat menampung semua larva yang menetas dari 40 gram telur.

#### Peralatan dan bahan yang dibutuhkan :



**Pinset**



**Timbangan presisi**  
(mak. 2kg, akurasi 0.01g)



**Tempat telur dan klip kertas berwarna**



**Boks penetasan**  
(60x40x12cm)



**Kerangka penetasan**  
(hatchling shower)  
(150x90x65cm)



**Air**



**Pakan ayam**  
(protein 23%, air 13%, lemak 5%, serat 5% & abu 7%.)



**Cocopeat**  
(serbuk kelapa)



Mengeluarkan eggies dari dalam love cage (**Langkah 1**)

#### Langkah kerja :

- Langkah 1:** Keluarkan eggies dari love cage setelah 4 hari (4x24 jam) sejak dipasang di atas meja love cage.
- Langkah 2:** Keluarkan boks atraktan. Ambil sekitar 200 gram residu atraktan lama untuk membuat atraktan baru. Buang sisa atraktan ke tempat sampah khusus sampah organik. Cuci boks atraktan dengan sabun dan keringkan.
- Langkah 3:** Ambil semua lalat mati dari dalam love cage yang dibongkar. Ambil sekitar 100 gram alat mati untuk membuat atraktan yang baru dan buang sisanya ke tempat sampah khusus sampah organik.

**Langkah 4:** Turunkan love cage beserta gantungan bambu dari meja love cage, lepaskan gantungan bambu dari love cage, keluarkan lalat mati yang tersisa di love cage dengan membalikan posisi dalam love cage menjadi di luar. Setelah bersih dari lalat mati, masukkan love cage ke mesin cuci, tambahkan sabun dan set program pada 30°C. Setelah itu, keluarkan love cage dari mesin cuci dan keringkan.



Menurunkan love cage dan melepaskan gantungan bambu dari love cage (**Langkah 4**)



Mencuci love cage setiap kali selesai digunakan dengan mesin cuci (**Langkah 4**)

**Langkah 5:** Bersihkan meja love cage (tempat love cage yang tadi dibongkar) dengan sabun, semprot dengan larutan alkohol 95%, ratakan larutan alkohol tersebut dengan kain serbet dan biarkan sampai alkoholnya mengering. Lepaskan label tanggal love cage dari meja love cage.



Mengambil tempat telur berumur satu minggu dari hatchling shower (**Langkah 6**)

**Langkah 6:** Di hatchling shower, ambil semua tempat telur dengan kode klip kertas berwarna sesuai jadwal yang telah ditentukan. Saringan teh sebagai tempat telur ditandai dengan klip kertas berwarna sesuai dengan hari ketika diletakkan pada hatchling shower (misalnya, Senin = Kuning, Selasa = Ungu, Rabu = Abu-abu, dll.). Tempat telur dengan kode warna hari ini digantungkan pada hatchling shower selama satu minggu sampai semua telurnya menetas.

**Langkah 7:** Ambil 10 eggies dari love cage yang sudah dibongkar, secara hati-hati lepaskan karet di kedua ujung eggies. Gunakan pinset untuk mengerok telur dari permukaan kelima kayu yang digunakan untuk membuat satu eggies. Kumpulkan telur yang sudah dipanen ke dalam mangkuk kecil. Ulangi proses tersebut untuk 9 eggies lainnya, dan love cage lainnya yang dibongkar pada hari yang sama. Jika di hari tersebut ada lebih dari 1 love cage yang akan dibongkar.

**Langkah 8:** Timbang berat telur yang dipanen dari semua eggies yang dikeluarkan dari satu love cage. Masukkan sekitar 40 gram telur ke dalam satu tempat telur yang pertama. Ulangi proses tersebut dan bagi sama rata apabila telur yang dipanen lebih dari 40 gram, sehingga setiap tempat telur akan berisi telur dengan berat yang sama. Pasang satu klip kertas berwarna untuk tiap satu tempat telur sesuai jadwal yang telah ditentukan. Lalu gantungkan tempat telur pada hatchling shower, pastikan bahwa setidaknya satu tempat telur tepat digantung di atas boks penetasan dalam seharinya.



Memasukkan telur ke dalam tempat telur (**Langkah 8**)



Memasang kode klip kertas berwarna ke tempat telur (**Langkah 8**)

**Langkah 9:** Siapkan boks penetasan. Setiap boks penetasan yang baru akan menggantikan posisi boks sebelumnya pada hatchling shower. Setiap boks berisi 3 kg pakan berupa campuran 30% pakan ayam kering (untuk ayam pedaging) dan 70% air. Aduk campuran hingga rata. Isi tiap boks dengan campuran 3 kg. Tutupi setiap boks penetasan yang telah berisi pakan dengan cocopeat atau dedak gandum (ketebalan 0.5-1.0 cm) agar pakan tidak cepat mengering. Beri label di tiap boks penetasan yang dibuat pada hari tersebut, berupa tanggal pembuatan boks penetasan baru .



Boks penetasan diisi dengan 3 kg pakan untuk larva (**Langkah 9**)



Pakan di dalam boks penetasan ditutup dengan lapisan tipis cocopeat supaya tidak cepat kering (**Langkah 9**)

**Langkah 10:** Pindahkan semua boks penetasan ke satu rak di bawahnya, sehingga rak terbawah adalah boks penetasan berisi larva yang berumur lima hari. Karena boks penetasan yang ada tepat di bawah tempat telur telah dipindahkan, maka rak paling atas kosong dan bisa diletakkan boks penetasan yang baru dibuat.



### STANDAR PAKAIAN PELINDUNG UNTUK PEKERJA:

- Gunakan masker dan kaca mata untuk melindungi wajah dari telur dan larva kecil.
- Gunakan jas lab dan sarung tangan lateks ketika menangani telur, atraktan, dan lalat mati serta menggunakan sabun.



### POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:

- Timbang berat telur yang dikerok dari eggies. Lihat Langkah 7 untuk detailnya.
- Hitung jumlah telur yang dipanen:
  - Total jumlah telur dipanen:  $E_{total}$  (jumlah)
  - Total berat telur dipanen:  $M_{total}$  (gram)
  - Berat satu butir telur:  $M_{sampel}$  (gram) – 0.0000291 gram per telur

$$E_{total} = M_{total} / M_{sampel}$$



### Modul fase telur dari seri video kuliah online

tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



### 3.2.3 Fase penetasan

5-DOL dipanen dari boks penetasan. Pada umur 5 hari, boks ini mampu menampung sekitar 700,000 larva atau setara dengan 73 larva per  $\text{cm}^3$ . 5-DOL kemudian dipisahkan dari residu dan jumlah totalnya dihitung.

#### Peralatan dan bahan yang dibutuhkan :



#### Langkah kerja :

**Langkah 1:** Ambil boks penetasan tertua yang telah berumur 5 hari dari rak penetasan. Jika anda memiliki boks penetasan lebih dari satu saat set-up, campur semua menjadi satu boks saat pemanenan. Gunakan ayakan manual (ukuran mesh 1 mm) untuk mengayak semua material di boks penetasan. Partikel residu berukuran kecil dan larva berukuran sangat kecil ( $< 1 \text{ mm}$ ) akan jatuh dari ayakan ke boks, sedangkan partikel residu dan larva yang lebih besar tetap berada di ayakan. Residu dan larva yang berada di ayakan lalu diletakkan di boks plastik. Dari boks ini, residu besar tadi lalu dipisahkan dengan cara di sendok sebanyak mungkin dan disimpan di tempat lain sampai gumpalan 5-DOL terlihat jelas (dengan sedikit residu yang tersisa). Larva juga dapat dipisahkan dari residu dengan cara menepuk sisi boks plastik, karena getaran yang dihasilkan tersebut dapat mengumpulkan larva di satu tempat.



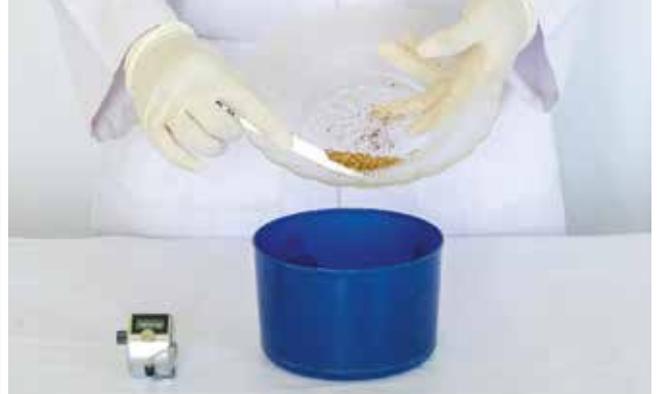
Menyendok residu dari 5-DOL untuk mendapatkan fraksi 5-DOL yang murni (**Langkah 1**)

**Langkah 2:** Bersihkan boks penetasan tadi dengan mesin pencuci bertekanan tinggi (high pressure washer), sikat bersih, dan keringkan.

**Langkah 3:** Sendok secara acak campuran 5-DOL yang sudah murni dan timbang masing-masing 2 gram sampel dari campuran 5-DOL tadi ke dalam dua mangkuk berbeda.



Setelah tercampur rata, ambil secukupnya 5-DOL yang telah murni secara acak (**Langkah 3**)



Sampel 5-DOL sebanyak 2 gram (dengan sedikit residu yang tersisa) lalu dihitung (**Langkah 4**)

**Langkah 4:** Letakkan sampel 2 gram 5-DOL pertama ke piring. Kemudian, hitung 5-DOL secara manual menggunakan pinset dan click counter, dengan cara mendorong larva ke dalam mangkuk yang sudah diletakkan di bawah piring. Ulangi proses tersebut untuk sampel kedua. Catat jumlahnya sebagai jumlah 5-DOL per dua gram, lalu hitung berat rerata dari kedua sampel.

**Langkah 5:** Timbang berat total semua 5-DOL murni yang ada di dalam boks. Dengan menggunakan hasil hitungan per dua gram, hitung jumlah total larva dalam boks tersebut. Lihat perhitungan di bawah ini.

**Langkah 6:** Berdasarkan jumlah boks inkubator yang akan diset-up (tergantung jumlah substrat), siapkan gelas dan isi setiap gelas dengan berat campuran 5-DOL dari boks sesuai perhitungan tadi, sesuai kebutuhan untuk setiap larvero. Lihat perhitungan di bawah ini.

**Langkah 7:** Sisa 5-DOL lalu dipelihara sampai menjadi lalat atau dibuang jika berlebih (lihat Fase Lalat).



Persiapan berupa pembagian porsi 5-DOL untuk boks inkubator (**Langkah 6**)



### STANDAR PAKAIAN PELINDUNG UNTUK PEKERJA:

- Gunakan jas lab dan sarung tangan lateks ketika menangani 5-DOL dan residu.



### POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:

- Hitung jumlah larva dalam boks:
  - Total jumlah larva dalam boks:  $L_{total}$  (jumlah)
  - Total berat larva dalam boks:  $M_{total}$  (gram)
  - Jumlah larva dalam sampel:  $L_{sampel}$  (jumlah)
  - Berat sampel:  $M_{sampel}$  (gram)

$$L_{total} = M_{total} * L_{sampel} / M_{sampel}$$



### POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:

- Hitung berat larva yang dibutuhkan untuk tiap larvero (boks inkubator) di unit pengolahan:
  - Berat larva yang dibutuhkan per larvero:  $M_{larvero}$  (gram)
  - Jumlah larva yang dibutuhkan per larvero:  $L_{larvero}$  (jumlah)  
(dengan hitungan 600-800 larva per kg substrat basah yang dimakan selama periode pengolahan)
  - Total berat larva dalam boks:  $M_{total}$ (gram)
  - Total jumlah larva dalam boks:  $L_{total}$  (jumlah)

$$M_{larvero} = L_{larvero} * M_{total} / L_{total}$$



**Modul fase penetasan dari seri video kuliah online** tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



### 3.2.4 Fase pembesaran larva

Boks nursery (nursery container) menyediakan sejumlah prapupa yang akan masuk ke boks upasi, untuk mempertahankan populasi lalat sesuai yang diperlukan. Jumlah 5-DOL yang dibutuhkan untuk mempertahankan keberlanjutan koloni, diberi makan selama kurang lebih dua setengah minggu sampai berubah menjadi prapupa. Selama periode tersebut, 10,000 larva dipelihara di satu nursery larvero atau setara dengan kepadatan 8 larva per cm<sup>3</sup>.

#### Peralatan dan bahan yang dibutuhkan



**Rak nursery larvero**  
(150x45x65 cm)



**Nursery larvero**  
(55x35x14) dan  
**boks transfer** (60x40x12cm)



**Timbangan**  
(mak. 35kg, akurasi 0.5g)



**Spatula**



**Gelas ukur**  
(3L)



**Timbangan**  
(maks 150kg, akurasi 50g)



**Ember**  
(80L)



**Air**



**Pakan ayam**  
(protein 23%, air 13%, lemak 5%, serat 5% & abu 7%.)



**Cocopeat/serbuk kelapa**

### Langkah kerja :

**Langkah 1:** Siapkan 2 kg campuran pakan, yang terbuat dari 30% pakan ayam dan 70% air. Aduk hingga tercampur rata.

**Langkah 2:** Ambil boks nursery larvero yang bersih dan tambahkan campuran pakan tadi ke dalamnya, tutupi dengan cocopeat atau dedak halus (setebal 0.5-1.0 cm), lalu tambahkan 10,000 5-DOL.



Taburkan cocopeat di tepi dalam boks transfer untuk mencegah prapupa keluar (**Langkah 2**)



Letakkan nursery larvero berisi 10,000 5-DOL di atas boks transfer (**Langkah 2**)



Tempelkan stiker label kode tanggal pada nursery larvero (**Langkah 4**)

**Langkah 3:** Ambil boks transfer yang bersih dan tambahkan cocopeat ke tepi dalam boks, lalu letakkan boks nursery larvero ke dalamnya. Karena prapupa akan merayap keluar dari nursery larvero dan jatuh ke dalam boks transfer, nursery larvero (35x55 cm) harus berukuran sedikit lebih kecil dari boks transfer (40x60 cm). Letakkan kedua boks tersebut di rak nursery larvero.

**Langkah 4:** Beri label dengan kode tanggal pembuatan nursery larvero dan jumlah larva yang telah ditambahkan, pada boks nursery larvero.

**Langkah 5:** Selama dua setengah minggu, nursery larvero yang baru dibuat lalu ditambahkan pakan lagi berupa campuran pakan ayam dan air dalam konsentrasi yang berbeda. Campuran ini diberikan pada hari-hari dan dalam jangka waktu tertentu, sesuai dengan jadwal pemberian pakan (lihat Lampiran B).

**Langkah 6:** Setelah dua setengah minggu, nursery larvero dibuang isinya dan prapupa yang tersisa di boks transfer dipanen (lihat kegiatan di Fase Prapupa).

**Langkah 7:** Sisa residu di nursery larvero yang dibuang, dapat dikomposkan. Lalu, bersihkan boks nursery larvero dan boks transfer yang telah kosong dengan sikat dan sabun, lalu keringkan.



Menambahkan pakan ke nursery larvero selama jadwal pemberian pakan (**Langkah 5**)



### **STANDAR PAKAIAN PELINDUNG UNTUK PEKERJA:**

- Gunakan jas lab dan sarung tangan lateks ketika menangani larva dan residu.



### **POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:**

- Tidak ada.



**Modul fase pembesaran larva dari seri video kuliah online** tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



### 3.2.5 Fase prapupa

Prapupa yang telah keluar dari nursery container, dimasukkan ke boks pupasi yang kemudian dimasukkan ke dark cage. Selama 5 hari, prapupa ditambahkan ke media pupasi, yang memiliki ketebalan sekitar 5 cm di dalam boks pupasi. Satu boks pupasi dapat menampung hingga 10,000 prapupa atau setara dengan 1 prapupa per cm<sup>2</sup>.

#### Peralatan dan bahan yang digunakan :



**Mixer**  
(mak. kap. 300kg)



**Kompos matang atau bahan yang mirip tanah**



**Air**



**Boks pupasi**  
(60x40x12cm)



**Rak pupasi**  
(190x45x60 cm)



**Timbangan**  
(mak. 35kg, akurasi 0.5g)



**Timbangan presisi**  
(mak. 2kg, akurasi 0.01g)



**Mangkuk kecil**



**Bin**  
(80L)



**Ayakan**  
(60x40x10)



**Boks untuk panen prapupa**  
(30x20x12cm)



**Timbangan**  
(maks 150 kg, akurasi 50 g)

#### Langkah kerja

**Langkah 1:** Siapkan media pupasi: 50 kg media pupasi terbuat dari  $\frac{3}{4}$  kompos dan  $\frac{1}{4}$  air. Campur kedua bahan tersebut dengan mixer hingga tercampur rata dan sampai tidak ada lagi material yang masih kering.



Mencampur kompos kering dengan air (**Langkah 1**)



Mengaduk campuran kompos dan air menjadi media pupasi yang lembab (**Langkah 1**)

**Langkah 2:** Ambil 16 boks pupasi yang bersih dan masukkan 3 kg campuran kompos ke dalam masing-masing boks. Ratakan media pupasi di dalam boks.

**Langkah 3:** Susun 16 boks tersebut ke dalam rak pupasi.

**Langkah 4:** Panen prapupa dengan memisahkan dari serbuk kelapa (cocopeat), yang diambil dari boks transfer menggunakan ayakan. Boks transfer yang kosong tadi kemudian diisi cocopeat di bagian tepi dalam, kemudian boks nursery larvero diletakkan kembali di atasnya. Proses yang sama dilakukan kembali untuk semua boks yang dipanen di hari tersebut. Catat berat prapupa yang dipanen dari tiap boks transfer untuk tujuan monitoring.



Prapupa dipisahkan dari cocopeat dengan ayakan yang memiliki ukuran mesh 3 mm (**Langkah 4**)



Menghitung 200 prapupa untuk menentukan berat rerata, yang kemudian membagi prapupa tersebut ke boks pupasi (**Langkah 5**)

**Langkah 5:** Kumpulkan semua prapupa yang dipanen di hari tersebut dan timbang menggunakan timbangan maks. 35 kg dengan ketelitian 0.5 g. Ambil dua sampel masing-masing 200 ekor dari prapupa yang terkumpul tadi secara acak, timbang dan catat berat reratanya.

**Langkah 6:** Siapkan 16 gelas yang diisi dengan prapupa sesuai dengan jumlah yang telah ditentukan pada daftar kegiatan (Lampiran A)

**Langkah 7:** Tuangkan prapupa dari 16 gelas ke dalam 16 boks pupasi, satu boks pupasi akan menerima jumlah prapupa yang sama dalam beberapa hari sesuai jadwal (lihat Lampiran A).



Menyiapkan prapupa dalam jumlah tertentu ke dalam gelas  
**(Langkah 6)**



#### **STANDAR PAKAIAN PELINDUNG UNTUK PEKERJA:**

- Gunakan jas lab dan sarung tangan lateks ketika menangani larva, prapupa, cocopeat, dan kompos.



#### **POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:**

- Berat prapupa dari setiap boks transfer ditimbang.
- Berat 200 prapupa ditimbang. Penimbangan dilakukan dua kali untuk menentukan berat rerata.



**Modul fase prapupa dari seri video kuliah online** tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



### 3.2.6 Fase pupa

Boks pupasi dimasukkan ke dark cage, dimana lalat akan muncul dari dalam dark cage dan kemudian dipanen ke love cage. Satu dark cage dapat menampung 16 boks pupasi dengan masing-masing 10,000 pupa atau setara dengan kepadatan 10 cm<sup>3</sup> per pupa.

#### Peralatan dan bahan yang dibutuhkan:



**Dark cage**  
(150x150x75 cm)



**Kerangka Dark cage**(170x155x80cm)



**Perangkap semut**

#### Langkah kerja :

**Langkah 1:** Gantung dark cage bersih ke kerangka dark cage menggunakan empat tali untuk mengikatnya di tiap sudut atas kerangka. Buka resleting yang ada di depan dark cage dan tutup corong dark cage dengan tali.



Mengantungkan dark cage baru (**Langkah 1**)

**Langkah 2:** Pastikan bagian bawah dark cage terletak rata di atas meja kerangka dark cage, dimana keempat kaki kerangka telah dipasang perangkap semut.

**Langkah 3:** Isi dark cage baru dengan 16 boks pupasi tertua dari rak pupasi. Tumpuk menyilang boks pupasi di dalam dark cage. Pastikan masih ada ruang yang cukup di antara boks pupasi, sehingga lalat yang muncul dapat keluar dari boks dengan mudah.



Mengisi dark cage dengan boks pupasi dan menutup ritsleting/corong agar alat tidak bisa keluar dan cahaya tidak masuk

**Langkah 4:** Beri label dark cage pada kerangka sesuai dengan tanggal pemasangannya.

**Langkah 5:** Keluarkan 16 boks pupasi dari dark cage (setelah 2 atau 3 minggu), yang hanya berisi media pupasi dan cangkang pupa. Buang isi boksnya ke tempat sampah. Gunakan mesin pencuci bertekanan tinggi, sikat gosok, dan sabun untuk membersihkan 16 boks pupasi dan keringkan.

**Langkah 6:** Jika ada, kumpulkan alat mati dari dalam dark cage dan buang ke tempat sampah.

**Langkah 7:** Lepaskan dark cage dari kerangka dan balik posisi kain dalam dark cage menjadi di luar, lalu cuci dengan sabun di mesin cuci menggunakan program 30°C. Kemudian, keluarkan dark cage dari mesin cuci dan keringkan.

**Langkah 8:** Bersihkan kerangka dark cage dengan cara menyemprot kerangka dengan larutan alkohol 95%, ratakan dengan kain dan biarkan alkohol mengering.

**Langkah 9:** Lepaskan label tanggal dari kerangka dark cage.



#### STANDAR PAKAIAN PELINDUNG UNTUK PEKERJA:

- Gunakan jas lab dan sarung tangan lateks ketika menangani boks pupasi, dark cage kotor, dan sabun.



#### POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:

- Tidak ada.



**Modul fase pupa dari seri video kuliah online** tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



### 3.3 Jadwal kegiatan dan pengelolaan data

Seluruh kegiatan yang disajikan dalam bab ini, berhubungan dengan pembiakan Black Soldier Fly. Meskipun sistem yang ditawarkan di buku ini memiliki desain dan berteknologi sederhana, jumlah penanganan yang banyak dapat membuat pengoperasiannya menjadi rumit. Karenanya, jadwal kegiatan pun disediakan (lihat Lampiran A) untuk membantu menyusun semua penanganan pada tiap langkah kerja, sehingga memberikan gambaran umum yang terorganisir tentang langkah-langkah mana yang harus dilakukan setiap harinya. Langkah-langkah tersebut diatur sesuai dengan urutan pelaksanaannya pada hari-hari tertentu. Oleh karena itu, operator harus selalu memulai kegiatan pada bagian atas daftar kegiatan, lalu dilanjutkan dengan mengerjakan kegiatan di bawahnya, hanya setelah kegiatan sebelumnya telah diselesaikan. Hal ini dilakukan supaya kegiatan selanjutnya tidak akan terganggu oleh kegiatan sebelumnya yang belum diselesaikan. Mengerjakan daftar secara sistematis dari atas ke bawah dapat memastikan jalannya proses kegiatan lebih lancar dan meningkatkan kinerja operator.

Selama mengerjakan tahapan operasional seperti yang ditunjukkan pada daftar kegiatan, data perlu dikumpulkan dan dimasukkan untuk memastikan monitoring dan memberikan gambaran umum yang baik tentang performa siklus pembiakan. Sistem digital bisa digunakan untuk membantu dalam input data secara langsung, untuk menghasilkan gambaran performa. Namun, jika alat dan perangkat lunak digital tidak tersedia, kami merekomendasikan untuk menggunakan lembar kerja sederhana pada kertas, yang tersedia pada Lampiran D. Lembar kerja tersebut memuat pencatatan data berupa berat telur, jumlah 5-DOL, berat prapupa, jumlah pupa yang masuk, dan berat lalat. Cara mengumpulkan data ini, dijelaskan di masing-masing fase hidup BSF pada bab ini.





## Bab 4:

# Konversi BSFL

### 4.1 Pemetaan sumber sampah organik

Larva pada umumnya sangat toleran terhadap jenis makanannya. Namun, tetap penting untuk memastikan bahwa sampah organik yang diterima di fasilitas tersebut sesuai sebagai pakan larva. Dengan kadar air antara 60% hingga 90% dan ukuran partikel tertentu, sebagian besar bahan organik bisa diolah dengan satu atau cara lain. Daftar sampah organik yang diketahui dapat menghasilkan pertumbuhan dan konversi biomassa yang baik, ditunjukkan pada Tabel 41. Larva sangat bergantung pada simbiosis mikroorganisme, yang dapat merusak struktur sel dan menghasilkan nutrisi yang tersedia untuk dicerna oleh larva. Akan tetapi, jika kualitas pakan kurang optimal, waktu perkembangan larva akan lebih lama dan berat akhir larva pun akan lebih rendah. Maka penting untuk memperhatikan hal-hal tersebut, ketika melihat fasilitas BSF dari sudut pandang ekonomi.

Tabel 4-1: Berbagai jenis sampah organik yang sesuai untuk pengolahan dengan BSF

Sampah perkotaan	Sampah argo industri	Kotoran hewan dan manusia
<ul style="list-style-type: none"><li>Sampah organik perkotaan</li><li>Sampah makanan dan restoran</li><li>Sampah pasar</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Sampah pengolahan makanan</li><li>Sampah pengolahan biji-bijian</li><li>Sampah rumah potong hewan</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Kotoran unggas</li><li>Kotoran babi</li><li>Kotoran manusia</li><li>Lumpur tinja</li></ul>

Buku panduan ini menggunakan asumsi bahwa "pemetaan sumber sampah (waste sourcing)" untuk fasilitas pengolahan sampah telah dilakukan dengan baik. Sampah organik harus benar-benar murni dan dapat diuraikan oleh organisme, serta harus memenuhi kriteria jenis sampah organik yang sesuai, seperti yang telah disebutkan di atas



#### Pemetaan sumber sampah

Untuk menjamin pengoperasian fasilitas BSF yang baik, sumber sampah yang masuk dalam jumlah tetap dan berkualitas baik sangatlah penting. Oleh karena itu, disarankan bekerjasama untuk kontrak jangka Panjang, dengan produsen sampah lokal setelah sumber sampah yang sesuai telah diidentifikasi. Kriteria untuk mengidentifikasi sumber sampah yang sesuai yaitu:

- Ketersediaan substrat dan biaya:** Apakah sampah tersedia dalam jumlah yang cukup dan kualitasnya baik, serta berapa banyak biaya yang dikeluarkan untuk pengadaan, pengangkutan, dan pemilahan sampah?
- Performa proses BSFL:** Apakah sampah tersebut cocok sebagai pakan larva dan seberapa lama waktu yang dibutuhkan bagi larva untuk makan di dalam larvero sampai panen?
- Keamanan produk:** Apakah sampah mengandung zat berbahaya (patogen, logam berat, pestisida, dll.) yang dapat berdampak negatif pada kesehatan pekerja dan/ atau larva, yang pada akhirnya dapat mempengaruhi kualitas produk akhir?
- Hirarki daur ulang sampah:** Apakah akses ke sumber sampah tertentu dapat mempengaruhi sistem sampah yang ada? Bagaimana sampah ini dibuang atau digunakan sebelum menjadi sampah dan siapa saja yang diuntungkan dari adanya sampah tersebut (pakan ternak, biodigester)?

Langkah pertama yang dilakukan setelah sampah diterima adalah mengecek kualitas sampah, untuk memastikan tidak ada bahan berbahaya dan bahan anorganik yang tercampur di dalam sampah tersebut. Beberapa kantong plastik yang tercampur di sampah, mungkin tidak menimbulkan masalah berarti karena dapat disortir dan dibuang secara manual. Namun, bahan berbahaya/kontaminan sama sekali tidak boleh ada karena dapat memengaruhi semua organisme hidup: larva,

bakteri yang berasosiasi dengan larva, dan, tentu saja, para pekerja. Zat asam, zat pelarut, pestisida, sabun (detergent), dan logam berat termasuk dalam kategori bahan berbahaya, dan sangat penting untuk dihindari apalagi bahan tersebut dalam bentuk cair atau terlarut, karena dapat dengan mudah mencemari sampah secara keseluruhan. Jika sampah yang datang di fasilitas dicurigai terkontaminasi, maka sampah tersebut harus ditolak.

Apabila kualitas sampah sudah dipastikan baik, langkah selanjutnya adalah memperkecil ukuran partikel sampah. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan mesin pencacah atau hammer mill (Gambar 4-1). Apapun jenis teknologi yang digunakan, peralatan tersebut harus dapat mencacah sampah menjadi partikel dengan diameter lebih kecil dari 1-2 cm. Hal tersebut dilakukan untuk membantu mempercepat pengolahan dengan BSF, karena larva BSF tidak memiliki tipe mulut yang tepat untuk memakan sampah berukuran besar. Selain itu, pencacahan sampah juga dapat meningkatkan luas permukaan sehingga mendorong pertumbuhan bakteri yang berasosiasi dengan larva. Pencacahan sampah yang efisien juga meningkatkan keseragaman ukuran residu yang dihasilkan, yang mana meningkatkan kualitasnya dan selanjutnya mempermudah dalam pemisahan larva dan residu.



Gambar 4-1: Mesin pencacah (hammer mill) untuk pra-pengolahan

### Emisi gas rumah kaca



Mengingat upaya berkelanjutan dari pemerintah pusat (negara) dan pemerintah lokal untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GHG, greenhouse gas), dan komitmen yang diambil oleh semua negara yang menjadi anggota dalam Konvensi Kerangka Kerja Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa-Bangsa (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change), para pembuat keputusan semakin kritis dalam mengevaluasi Potensi Pemanasan Global (GWP, Global Warming Potential) yang dihasilkan dari berbagai jenis pengolahan yang berbeda, ketika memilih pendekatan pengelolaan sampah organik. Untuk pendekatan yang lebih konvensional, seperti pengomposan ataupun penguraian secara anaerobik, informasi ini sudah banyak tersedia dan penyederhanaan metodologi pun tersedia di bawah kerangka kerja Mekanisme Pembangunan Bersih (CDM, Clean Development Mechanism). Namun, untuk teknologi yang lebih mutakhir seperti pengolahan sampah dengan BSF, informasi tersebut masih terbatas sampai saat ini. Akan tetapi, hasil pertama menunjukkan bahwa emisi gas dari proses degradasi/penguraian, seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>) dan nitrus oksida (N<sub>2</sub>O), tidak menjadi perhatian utama dalam pengolahan dengan BSF. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa emisi dari pengolahan dengan BSF, lebih rendah dibandingkan dengan metode pengolahan lainnya<sup>2,3</sup>

<sup>2</sup> Ermolaev E, Lalander C and Vinnerås B. (2019) Greenhouse gas emissions from small-scale fly larvae composting with *Hermetia illucens*. Waste Management 96: 65-74.

<sup>3</sup> Mertenat A, Diener S and Zurbrugg C. (2019) Black Soldier Fly biowaste treatment – Assessment of global warming potential. Waste Management 84: 173-181.

Sampah tercacah dengan kadar air di atas 80% (Gambar 4-2) perlu dicampur dengan sumber sampah kering lainnya untuk mendapatkan kadar air campuran di bawah 80%. Pada kadar air 80%, sampah tercacah akan memiliki tekstur seperti campuran buah (smoothie) yang dihasilkan dari blender dapur.

Jika kadar air sampah di bawah 70% (Gambar 4-4), maka perlu ditambahkan air. Kadar air yang telah sesuai, dapat ditentukan dengan cara meremas seenggam substrat. Jika kurang dari beberapa tetes air yang muncul di sela-sela jari, maka substrat tersebut masih terlalu kering. Saat menambahkan air ke substrat, pastikan air yang digunakan bersih dan tidak terkontaminasi patogen, logam berat, atau bahan lainnya yang dapat mengurangi nutrisi pada sampah. Substrat dengan kadar air antara 70 dan 80% biasanya terlihat lembab, tetapi akan berbentuk tumpukan saat ditambahkan ke dalam unit larvero (Gambar 4-3).



Gambar 4-2: Sampah organik dengan kadar air > 80%



Gambar 4-3: Sampah organik dengan kadar air 70-80%



Gambar 4-4: Sampah organik dengan kadar air < 70%



**Sampah organik yang diterima di fasilitas BSF, beratnya harus ditimbang. Hal ini dilakukan untuk mencatat sampah yang masuk setiap harinya di fasilitas tersebut. Waktu terbaik untuk menimbang berat total sampah yang masuk adalah setelah dicacah, yang kemudian disimpan sementara di dalam ember. Jika proses pengurangan kadar air sampah (dewatering) dilakukan, maka timbang berat sampah sebelum dan sesudah proses tersebut.**

#### 4.1.1 Pra-pengolahan sampah organik

Sampah yang datang di fasilitas, harus terlebih dahulu diperiksa kualitasnya. Sampah yang terkontaminasi bahan berbahaya tidak boleh diterima, karena akan mempengaruhi kesehatan larva atau menurunkan kualitas larva dan residu di akhir pengolahan. Kontaminan dalam bentuk cair atau terlarut sangat berbahaya, karena dapat mencemari semua sampah dan sulit terdeteksi, sehingga sangat penting bagi petugas pengumpul sampah untuk mengetahui potensi dari bahan berbahaya ini. Pada setiap sampah yang dikirim ke fasilitas, petugas pengumpul sampah harus ditanyai tentang asal sampah dan apakah ada kemungkinan sampah tersebut telah terpapar kontaminan atau mengandung kontaminan. Jika ada alasan kuat untuk mencurigai keberadaan kontaminan berbahaya, sampah tersebut harus ditolak/dikembalikan dan tidak diproses.

Jika petugas pengumpul sampah telah diwawancarai dan setelah dilakukan pengecekan kualitas sampah secara visual, sampah dapat diterima, yang selanjutnya dilakukan tahap pra-pengolahan sampah. Hal ini meliputi: (i) penyortiran kasar (pemilahan sampah organik dari anorganik), (ii) pengurangan ukuran partikel sampah, (iii) penimbangan sampah, dan jika diperlukan (iv) pengkondisian sampah lebih lanjut pun dilakukan. Penyortiran kasar dilakukan dengan memisahkan sampah yang tidak dapat dimakan BSF, yang dapat dideteksi secara visual, seperti kantong plastik dan bahan anorganik lainnya. Pengurangan ukuran partikel sampah dilakukan dengan cara mencacah sampah sehingga sampah, sehingga dapat dengan mudah didistribusikan dan nutrisi dalam sampah lebih mudah dicerna oleh larva dan bakteri. Penimbangan sampah dilakukan untuk memastikan bahwa sampah yang diterima di fasilitas tercatat setiap harinya. Kemudian melalui langkah pengkondisian, kadar air sampah ditentukan dan disesuaikan (jika diperlukan), untuk memenuhi persyaratan pada tahap pengolahan.

#### 4.1.2 Unit pengolahan BSF

Pengolahan sampah organik dengan larva Black Soldier Fly dapat dilakukan dengan berbagai cara. Di panduan ini, akan dijelaskan praktik pengolahan dengan pemanenan manual. Dengan menggunakan pendekatan ini, sejumlah larva yang berumur sama (5-DOL) dimasukkan ke dalam boks (inkubator) dengan jumlah substrat tertentu. Saat 5-DOL makan dan tumbuh membesar, boks inkubator menjadi terlalu kecil untuk pertumbuhan lebih lanjut dari larva, sehingga kemudian larva dipindahkan ke boks yang lebih besar (boks larvero) dengan lebih banyak substrat yang ditambahkan.



**Praktisnya, kami menggunakan perhitungan berikut: 10,000 larva diberi makan dengan total 12 kg substrat (kadar air 75%) dan dipanen setelah 12 hari. Sebelumnya, 10'000 5-DOL disimpan di boks inkubator (30x20x10 cm) dan dibiarkan memakan substrat 1 kg (pemberian pakan satu kali) selama 3 hari, setelah itu larva dipindahkan ke boks larvero (40x60x15cm) dan dibiarkan makan dengan diberikan substrat langsung sebanyak 11 kg (pemberian pakan satu kali) selama 9 hari.**

Kami menganjurkan untuk menggunakan kombinasi boks inkubator dan boks larvero, karena hal ini telah terbukti dapat meningkatkan jumlah substrat yang dapat dikonversi per unit ruang yang tersedia dan juga dapat mengurangi jumlah penanganan (jam kerja). Metode ini dimulai dengan menyiapkan sejumlah boks inkubator kecil yang digunakan selama 3 hari dan masing-masing boks menerima substrat dalam jumlah kecil. Unit yang lebih kecil ini memungkinkan penanganan yang lebih mudah, namun tidak berdampak negatif terhadap pertumbuhan 5-DOL. Kami mengamati bahwa penggunaan “inkubator” ini mengurangi kebutuhan akan jumlah jam kerja secara keseluruhan dan saat panen di akhir proses pengolahan, campuran larva dan residu yang dihasilkan pun cukup kering sehingga dapat dengan mudah diayak.

Untuk pemberian pakan kedua, ketika jumlah substrat yang lebih banyak ditambahkan ke boks larvero, dua metode dapat dilakukan, yaitu baik dengan membawa substrat ke boks larvero atau memindahkan boks larvero ke area pemberian pakan. Adanya area pemberian pakan terpusat memiliki keuntungan untuk menjaga agar sebagian besar sampah berada di satu lokasi, sehingga area yang berpotensi kotor berada di satu tempat (yang kemudian dapat dibersihkan secara teratur), dan tumpahan sampah dalam jumlah banyak dapat dihindari terjadi di sekitar fasilitas. Keuntungan lainnya adalah ketika memindahkan boks larvero ke area pemberian pakan, setiap boks dapat diamati apabila terjadi hal yang tidak diinginkan. Buku ini menjelaskan sistem pemberian pakan dengan menggunakan area pemberian pakan terpusat.



### **Asal mula pengolahan sampah dengan BSF**

Penelitian BSF dimulai pada pertengahan abad ke-20 di peternakan ayam. Dari penelitian, didapatkan hasil bahwa keberadaan larva BSF pada kotoran di bawah kandang ayam dapat mengurangi perkembangbiakan lalat rumah dan penumpukan kotoran. Dengan demikian, para peneliti mulai mempraktikkan wawasan baru ini dengan merancang pembuangan saluran kotoran yang disesuaikan dengan karakter BSF (jalur landai untuk panen prapupa melalui self-harvesting, akses untuk mesin pembersih dan rumah kaca untuk lalat). Sebagian besar upaya untuk menerapkan pengolahan dengan BSF ke tingkat profesional, telah banyak dilakukan dengan sistem pemberian pakan berkelanjutan berdasarkan panen prapupa secara self-harvesting (prapupa keluar dari sumber pakan dengan sendirinya untuk mencari tempat kering).

Larva yang memakan sampah organik di boks inkubator dan larvero akan mengurai bahan organik dan mengubah nutrisi menjadi biomassa larva. Jika terlalu banyak sampah organik yang diberikan ke larva, lapisan sampah yang belum diproses akan menumpuk dan mulai menghasilkan panas melalui aktivitas bakteri. Penumpukan panas ini tidak menguntungkan bagi larva. Lapisan sampah yang belum terolah juga akan menarik jenis lalat lainnya. Sebaliknya, jika jumlah sampah yang diberikan tidak cukup, larva akan kelaparan dan memperlambat pertumbuhannya.

Akibatnya, fasilitas tersebut akan memiliki kapasitas pengolahan sampah yang rendah dan hasil larva terpanen juga rendah. Jumlah sampah yang dapat ditambahkan per boks larvero juga dibatasi oleh ketebalan lapisan sampah dalam larvero. Jika ketebalan lapisan sampah di boks larvero lebih dari 5 cm, larva akan kesulitan makan dan sampah di bagian bawah lapisan tidak akan terolah.



### Karakteristik makan larva

Morfologi bagian mulut larva *Hermetia illucens* cocok untuk makanan dalam bentuk cair dan berukuran kecil. Namun, larva juga memiliki mekanisme makan dengan cara menghisap (mirip seperti mesin bor terowongan), sehingga dapat mengurangi material berukuran besar dengan gerakan naik turun empat kali per detik. Dengan demikian, membuat partikel yang lebih besar dapat lebih mudah untuk dicerna oleh larva<sup>4,5</sup>.

Makanan akan melalui pipa pencernaan menuju ke usus tengah (mid gut), yang merupakan bagian terpanjang dan terpenting dari saluran pencernaan larva. Sepanjang usus tengah, melalui bantuan dari aktivitas gabungan enzim dan mikroba, makanan dipecah menjadi molekul yang lebih kecil untuk kemudian diserap melalui sel usus ke dalam hemolimfa atau biasa disebut sebagai “darah” pada serangga<sup>6</sup>.

Mikroba yang berada di dalam sampah organik dan usus larva, memiliki fungsi yang penting. Pada sampah organik, mikroba penting untuk hidrolisis makronutrisi, terutama serat yang biasanya tidak dapat diurai oleh larva BSF. Setelah dimakan, beberapa mikroba ini digunakan oleh larva sebagai makanan yang memberikan nutrisi tambahan, dibandingkan nutrisi dalam makanannya.

- <sup>4</sup> Shishkov O, Hu M, Johnson C, et al. (2019) Black soldier fly larvae feed by forming a fountain around food. *Journal of The Royal Society Interface* 16.
- <sup>5</sup> Bruno D, Bonacci T, Reguzzoni M, et al. (2020) An in-depth description of head morphology and mouthparts in larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Arthropod Structure & Development* 58.
- <sup>6</sup> Gold M, Egger J, Scheidegger A, et al. (2020) Estimating black soldier fly larvae biowaste conversion performance by simulation of midgut digestion. *Waste Management* 112.

Boks inkubator dan larvero dapat ditumpuk menyilang satu sama lain untuk mengurangi kebutuhan luas permukaan (Gambar 4-5 dan Gambar 4-6). Namun, jika ditumpuk, kami sarankan untuk menyediakan ruang antar boks yang cukup, supaya aerasi berjalan dengan baik. Celah antar boks diperlukan sebagai ventilasi udara supaya memungkinkan terjadinya pergantian udara (penguapan). Ventilasi ini juga menyediakan oksigen, yang sangat penting untuk larva.

Footprint satu unit pengolahan sampah organik, dimana enam boks ditumpuk satu sama lain, untuk boks inkubator adalah 33.3 kg/m<sup>2</sup>/hari, (Gambar 4-5), sedangkan untuk boks larvero adalah 30.6 kg/m<sup>2</sup>/hari (Gambar 4-6). Ketika menggabungkan sistem yang menggunakan boks inkubator untuk 3 hari pertama pemberian pakan sampah organik dan boks larvero, dengan menumpuk boks saat larva sedang makan, footprint konversi dari kedua sistem ini adalah 31.25 kg sampah organik yang diolah per m<sup>2</sup> per hari.



Gambar 4-5: Rak berisi boks inkubator (4 boks inkubator dalam 1 boks larvero)



Gambar 4-6: Tumpukan larvero dengan kerangka ventilasi diantara tumpukan boks

### 4.1.3 Pemanenan produk

Setelah 12 hari pengolahan sampah organik oleh larva BSF, setiap boks larvero dipanen. Pada tahap ini, larva telah berumur 17 hari dan berat larva mencapai maksimal, namun belum berubah menjadi prapupa, sehingga nilai nutrisi maksimal pun terkandung pada larva tersebut. Waktu yang paling tepat untuk panen adalah setelah 12 hari pengolahan, atau beberapa hari kurang atau lebih, yang sangat bergantung pada pengaruh faktor eksternal, seperti suhu lingkungan atau kualitas pakan. Oleh karena itu, operator fasilitas perlu tetap mengamati pertumbuhan dan kondisi larva untuk dapat menentukan waktu panen yang tepat, yang disesuaikan dengan konteks dan situasi lokal.

Pada tahap pemanenan, kedua produk berupa larva dan residu perlu dipisahkan. Kadar air residu tergantung pada kadar air substrat masuk, sehingga residu dapat berupa bahan kering yang rapuh ataupun seperti bubur basah. Residu seperti bubur basah menyebabkan proses pemanenan menjadi sulit. Oleh karena itu, kami merekomendasikan untuk mengambil tindakan selama tahap pengolahan untuk memastikan bahwa residu yang dihasilkan berupa bahan kering yang rapuh. Saat menerima substrat yang memiliki kadar air tinggi, maka kemungkinan akan menghasilkan residu seperti bubur basah. Karenanya, kami sarankan untuk menambahkan bahan kering seperti coco-peat, bungkil kelapa sawit (PKM, palm kernel meal) atau susu bubuk selama tahap pengolahan sehingga dapat menghasilkan residu kering ketika memanen larvero. Residu kering dapat dipanen menggunakan mesin ayak dengan dua ukuran ayakan, yaitu mesh 3 mm dan 7 mm. Pengayakan dapat dilakukan secara manual atau otomatis dengan mesin. Mesin ayak dapat mencapai frekuensi getar yang lebih tinggi daripada ayakan manual sehingga lebih disukai untuk digunakan (Gambar 4-7). Pengayakan campuran substrat berupa residu dan larva menggunakan dua ukuran ayakan, akan menghasilkan tiga jenis fraksi, yaitu satu fraksi larva dan dua fraksi residu (Gambar 4-8). Fraksi pertama dari residu yang memiliki warna yang gelap seperti tanah, dapat langsung dimasukkan ke karung dan disimpan hingga bahan tersebut matang, selanjutnya dapat digunakan sebagai kompos atau pembenah tanah. Fraksi kedua dari residu, yang biasanya terdiri dari daun, biji dan bahan sisa lainnya, harus dikomposkan untuk waktu yang lebih lama, idealnya menggunakan sistem pengomposan terbuka atau secara aerobik (windrow composting system).



Untuk mempelajari lebih lanjut tentang cara membuat kompos dari residu BSF atau bahan organik lainnya, panduan pengomposan dapat ditemukan pada tautan ini



Tahap penyaringan, disiapkan dengan menempatkan ayakan pada posisi miring. Kemudian tuangkan isi boks larvero ke atas ayakan. Selama pengayakan dengan mesin ayak, residu yang kasar akan tertinggal di atas lapisan ayakan pertama dengan ukuran mesh 7 mm. Larva dan residu halus akan jatuh melalui lapisan ayakan pertama ini ke lapisan kedua dengan ukuran mesh 3 mm.

Larva akan tetap berada di ayakan ini, sementara residu halus akan jatuh melalui lapisan ayakan kedua. Karena mesin ayak dalam posisi miring dan bergetar, semua fraksi akan bergerak turun hingga ke ujung ayakan. Di sini, pada setiap lapisan ayakan, diletakkan ember di bawah corong keluaran, untuk menampung material yang keluar dari mesin ayak dan untuk diproses lebih lanjut.



Gambar 4-7: Mesin ayak untuk memisahkan larva dari residu kering



Gambar 4-8: Tiga jenis fraksi yang keluar dari mesin ayak: satu fraksi larva dan dua fraksi residu

Sistem ayakan horizontal lainnya, menggunakan mesin vibrator untuk menggerakkan material menuju corong keluaran yang kemudian dikumpulkan dalam ember.

#### 4.1.4 Pengondisian (conditioning) produk dari pemanenan

Pemanenan adalah proses memisahkan residu dari larva. Namun setelah proses selesai, beberapa partikel residu akan tetap menempel pada larva dan isi perut larva masih mengandung bahan yang belum dikeluarkan sebagai kotoran larva. Biasanya, larva BSF yang dipanen, dapat dijual sebagai pakan ternak, baik dalam bentuk segar dan hidup maupun dalam bentuk olahan lanjut. Untuk kedua bentuk produk tersebut, pengondisian larva merupakan persyaratan penting untuk meningkatkan kemurnian dan kualitas produk. Ada dua cara pengondisian larva yang disarankan di buku panduan ini, yang keduanya bertujuan untuk membersihkan larva dari partikel residu yang tersisa dan mengurangi isi perut larva, yaitu pembersihan (purgings) dan sanitasi (sanitizing). Sementara purging membersihkan larva dalam keadaan masih hidup, sanitizing justru membunuh larva dengan melalui proses blanching sebelum purging. Namun demikian, kedua prosedur yang dijelaskan tersebut tidak sepenuhnya membersihkan larva dari mikroorganisme atau kontaminasi yang sudah ada di sumber sampah organik, yang mungkin saja telah mengkontaminasi larva selama proses pertumbuhannya atau ketika ditambahkan pakan berupa substrat sampah organik.

#### 4.2 Kegiatan di unit konversi BSFL

Langkah-langkah kerja serta peralatan dan bahan yang digunakan di unit konversi BSFL, disajikan pada subbab ini. Seperti halnya kegiatan di unit pembiakan BSF, sebagian besar bahan dan peralatan yang digunakan, tersedia secara lokal dan dapat dibeli di toko hardware. Namun, Beberapa peralatan juga ada yang dibuat khusus untuk pengoperasian tersebut. Dimensi peralatan ini, disajikan dalam deskripsi di bawah setiap peralatan tersebut.



**Gambar teknis untuk peralatan yang dibuat khusus (custom-made),** yang digunakan dalam langkah-langkah operasional di unit konversi BSFL, dapat ditemukan pada tautan ini.



### 4.2.1 Pra pengolahan

Tujuan dari tahap pra-pengolahan adalah untuk mengurangi ukuran partikel dan menghomogenkan (menyamakan ukuran dan mencampur) sampah organik yang masuk, yang akan diberikan ke larva. Dengan demikian, sampah organik dapat dengan mudah didistribusikan dan diberikan ke larva, karena nutrisi di dalam sampah organik tersebut dapat lebih mudah dicerna oleh larva dan bakteri yang berasosiasi dengan larva.

#### Peralatan dan bahan yang dibutuhkan :



**Mesin pencacah**  
(kapasitas 1 ton/jam)



**Ember**  
(80L)



**Timbangan**  
(mak. 150kg, akurasi 50g)



**Mixer**  
(mak. kap. 300kg)



**Oven bahan kering**  
/TS oven



**Cup untuk menganalisis**  
sampel bahan kering

#### Langkah kerja :

**Langkah 1:** Setelah kualitas sampah yang datang dicek dan sesuai, karena tidak mengandung bahan berbahaya, sampah organik dikeluarkan dari kendaraan pengumpul sampah dan diletakkan di dekat mesin pencacah. Saat men-gosongkan kendaraan, pilah sampah anorganik dari sampah organik (pemilahan kasar).

**Langkah 2:** Letakkan ember berlabel di bawah corong keluarannya sampah organik tercacah dan nyalakan mesin pencacah.

**Langkah 3:** Saat memasukkan sampah organik ke dalam corong pemasukan (hop per) pada mesin pencacah, di saat yang sama juga memilah sampah anorganik yang masih tercampur di sampah tersebut secara manual. Jika ember penampung sampah tercacah sudah penuh, ganti dengan ember baru yang kosong.



Menurunkan keranjang berisi sampah pasar dari kendaraan pengumpul sampah. Satu per satu keranjang diperiksa isinya (**Langkah 1**)

**Langkah 4:** Timbang dan catat berat sampah organik tercacah menggunakan timbangan berkapasitas 150 kg.

**Langkah 5:** Setelah semua sampah organik selesai dicacah, gunakan mesin pencuci bertekanan tinggi untuk membersihkan bagian dalam, luar, dan sekitar mesin pencacah. Air limbah yang dihasilkan lalu dibuang untuk dapat diolah lebih lanjut.



Mengurangi ukuran partikel sampah organik dengan mesin pencacah (**Langkah 3**)



Pengondisian substrat dengan menambahkan bahan kering jika kadar air terlalu tinggi dan menambahkan air jika kadar air terlalu rendah (**Langkah 6+7**)

**Langkah 6:** Jika substrat masih terlalu basah (kadar air > 80%), bahan kering harus ditambahkan untuk menyeimbangkan kadar air supaya dihasilkan residu kering diakhir proses pengolahan. Anda dapat mencampur bahan kering tersebut dengan sampah organik yang kadar airnya > 80% ke boks konversi dengan mixer atau menambahkan bahan kering ke dalam boks terlebih dahulu dan kemudian menambahkan substrat basah di atasnya, sehingga bahan kering dapat menyerap kandungan air dari substrat basah.

**Langkah 7:** Jika substrat terlalu kering (kadar air < 60%), anda dapat mencampurnya dengan substrat basah atau dengan menambahkan air. Pastikan bahan kering selalu di bawah dan bahan basah di atas, jika kedua substrat tersebut tidak dicampur sebelum dimasukkan ke boks larvero.

**Langkah 8:** Untuk mengetahui nilai kadar air suatu substrat, sampel Total Padatan (TS) harus disiapkan dan dimasukkan ke dalam oven khusus. Biasanya oven ini disebut "oven bahan kering" atau "TS oven".



#### STANDAR PAKAIAN PELINDUNG UNTUK PEKERJA:

- Gunakan sarung tangan, pakaian pelindung, pelindung mata dan telinga saat menggunakan mesin pencacah.
- Pastikan untuk melakukan tindakan perlindungan yang tersedia untuk mesin pencacah (hammer mill), misalnya corong pemasukan (feeding hopper), tutup corong (flap), dan fitur keselamatan lainnya, untuk menghindari risiko kontak langsung antara tangan pekerja dan bagian mesin yang sedang bergerak.



#### POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:

- Berat sampah yang diterima di fasilitas.
- Berat sampah terpilah yang dipisahkan untuk berbagai tujuan pengolahan.
- Sebelum menambahkan substrat ke boks larvero, penting untuk mendapatkan sampel substrat untuk menentukan kadar air. Untuk tujuan ini, campur semua substrat dari tiap ember berisi jenis substrat berbeda, dan ambil satu sendok besar dari setiap ember tersebut ke dalam satu ember sampel. Campur rata isi dalam ember sampel dan ambil sampel sekitar 50 g, lalu masukkan ke cup sampel. Cup yang berisi sampel tersebut ditimbang, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam, sebelum ditimbang kembali Hitung kadar air sampel dengan rumus: Kadar air [%] =  $((\text{Berat basah}-\text{Berat kering})/\text{Berat basah}) * 100$ .



**Modul tahap pra-pengolahan dari seri video kuliah online** tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



#### 4.2.2 Pengolahan

Pengolahan sampah organik dimulai dengan menyiapkan boks inkubator, memasukkan substrat sampah organik yang sudah dicacah (dan dikondisikan) ke dalam masing-masing boks inkubator ini, kemudian menyiapkan dan menambahkan 5-DOL dalam jumlah tertentu di atas substrat. Tiap boks inkubator akan menerima 1 kg substrat dan 10,000 5-DOL, yang setara dengan kepadatan 3.3 larva per cm<sup>3</sup>. Penyiapan boks larvero dilakukan dengan mengambil boks larvero kosong, lalu tambahkan 11 kg substrat segar dan tuangkan isi dari boks inkubator yang telah berumur 3 hari ke boks larvero, sehingga kepadatan menjadi 0.8 larva per cm<sup>3</sup>. Sebanyak 6 boks larvero ditumpuk di atas palet secara bergantian dengan kerangka ventilasi hingga menyusun satu unit konversi.

#### Peralatan dan bahan yang digunakan:



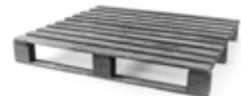
**Rak inkubator**  
(150x180x65 cm)



**Boks inkubator**  
(30x20x10 cm)



**Boks larvero**  
(60x40x15)



**Palet larvero**  
(129x122x20 cm)



**Kerangka ventilasi**  
(129x122x12 cm)



**Unit konversi**  
(129x122x170 cm)



**Troli palet**  
(kapasitas 2 ton)



**Ember**  
(80L)



**Sekop sampah**



**Timbangan**  
(mak. 150kg, akurasi 50g)



**Troli**

## Langkah kerja:

**Langkah 1:** Siapkan 36 boks inkubator dan isi dengan 1 kg substrat per boks.

**Langkah 2:** Tambahkan 1 cup berisi 10,000 5-DOL ke dalam tiap boks inkubator yang sudah terisi substrat.



Menambahkan 1 kg substrat ke tiap boks inkubator (**Langkah 1**)



Menambahkan cup berisi 5-DOL ke atas substrat (**Langkah 2**)



Boks inkubator di dalam boks yang lebih besar (seukuran boks larvero) oleh substrat dan 5-DOL (**Langkah 3**)

**Langkah 3:** Masukkan 36 boks inkubator ke dalam boks yang lebih besar (seukuran boks larvero) dan letakkan ke dalam rak inkubator.

**Langkah 4:** Ambil 36 boks inkubator dengan tanggal paling tua dari rak inkubator dan pindahkan ke area pemberian pakan.

**Langkah 5:** Ambil palet dan troli. Siapkan 36 boks larvero dan 5 kerangka ventilasi. Bawa ke area pemberian pakan.



Menumpuk boks larvero pada palet (**Langkah 3**)

**Langkah 6:** Letakkan 6 boks larvero di atas palet, dan beri masing-masing 9 kg substrat pakan. Letakkan satu kerangka ventilasi ke atas 6 boks larvero, kemudian tumpuk kembali dengan 6 boks larvero di atasnya. Ulangi langkah ini hingga tersusun 6 tumpukan dengan total 36 boks.

**Langkah 7:** Beri label dengan kode palet, kemudian gunakan troli palet untuk memindahkan palet baru yang selesai di set-up ke area pengolahan sampah.

**Langkah 8:** Cuci boks inkubator dan ember substrat yang telah kosong dengan high-pressure washer dan biarkan sampai kering, dan keringkan.



### **STANDAR PAKAIAN PELINDUNG UNTUK PEKERJA:**

Gunakan sarung tangan dan baju pelindung ketika melakukan aktivitas pemberian pakan.



### **POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:**

- Berat substrat yang masuk ke boks inkubator.
- Berat substrat yang masuk ke boks larvero.



**Modul tahap pengolahan dari seri video kuliah online** tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



### 4.2.3 Pemanenan

Setelah larva memakan substrat dan hanya residu kering yang tersisa, boks larvero dipanen menggunakan sistem penyaringan mekanik yang akan memisahkan campuran residu dan larva menjadi tiga fraksi. Larva yang terpanen dapat diambil untuk dilakukan proses lanjutan. Sedangkan residu yang terpisah perlu diolah terlebih dahulu, sebelum dapat digunakan sebagai kompos.

#### Peralatan dan bahan yang dibutuhkan:



**Konveyor** (dibuat secara khusus) **dan sistem penyaringan** (Guan-Yu, GY-1000-2S). Saringan dengan dimensi 100x100x106 cm, 2HP dinamo dengan voltase 380 (3-phase) dan 1440 rpm



**Ember**  
(80L)



**Sekop**



**Timbangan**  
(maks. 150kg,  
akurasi. 50g)



**Troli**



**Oven bahan kering**  
/TS oven



**Cup untuk menganalisis**  
sampel bahan kering

## Langkah kerja :

**Langkah 1:** Siapkan area pemanenan dengan menempatkan boks material kosong di bawah ketiga corong keluaran dari mesin ayak dan siapkan timbangan dekat dengan sabuk konveyor.



Area pemanenan dengan mesin penyaringan, boks untuk menampung fraksi yang keluar dari mesin ayak, dan karung berisi residu  
(Langkah 1)

**Langkah 2:** Ambil palet yang akan dipanen di hari tersebut, dengan melihat jadwal set-up/panen, dan pindahkan palet ke area pemanenan menggunakan troli palet.

**Langkah 3:** Nyalakan timbangan, sabuk konveyor dan mesin ayak.

**Langkah 4:** Ambil tiga boks konversi, letakkan ke atas timbangan dan tekan tombol tare. Ambil tiga boks larvero pertama dari palet yang berisi campuran residu dan larva, letakkan ke atas timbangan. Catat berat di lembar pengumpulan data.



Menimbang boks konversi berisi campuran residu dan larva  
(Langkah 4)

**Langkah 5:** Tuangkan isi boks larvero satu persatu ke corong pemasukan (hopper) mesin sehingga material akan terbawa naik ke mesin ayak melalui konveyor.

**Langkah 6:** Ulangi proses penimbangan, catat berat dan kosongkan boks larvero hingga semua boks terpanen dari satu unit palet. Ulangi seluruh proses untuk palet berikutnya yang terjadwal di panen di hari tersebut.

**Langkah 7:** Saat melakukan pemanenan palet: pastikan tiga fraksi dari satu palet yang keluar dari corong keluaran (outlet) terpisah untuk mengetahui hasil panen. Ganti boks dengan yang kosong jika sudah penuh. Pastikan bahwa material yang keluar dari ayakan berasal dari satu palet terpisah dari palet lainnya.



Larva dan residu yang dibawa oleh konveyor ke mesin ayak, sebelum dipisahkan menjadi fraksi yang berbeda (**Langkah 7**)

**Langkah 8:** Satu fraksi panen dengan partikel residu yang besar, ditimbang dan dicatat beratnya, selanjutnya material dimasukkan ke pengomposan. Jenis fraksi lain yang terpisah merupakan residu dengan ukuran partikel yang kecil, ditimbang dan dicatat beratnya, kemudian dimasukkan ke karung untuk proses pematangan kompos.

**Langkah 9:** Fraksi ketiga adalah larva yang masih tercampur dengan residu yang memiliki ukuran hampir sama dengan larva. Residu ini dipilah secara manual (menggunakan tangan) dari bagian atas boks karena larva akan menjauh dari cahaya dan mendorong residu ke permukaan. Setelah tidak ada lagi residu yang tersisa, larva kemudian ditimbang dan dicatat beratnya.



#### **STANDAR PAKAIAN PELINDUNG UNTUK PEKERJA:**

- Gunakan sarung tangan, pelindung mata dan baju pelindung ketika melakukan aktivitas panen.



#### **POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:**

- Penting untuk menimbang berat “panen” residu dan larva. Data ini digunakan untuk menghitung indikator performa yang akan memudahkan operator untuk memonitor performa dari fasilitas pengolahan, yang meliputi reduksi sampah, rasio biokonversi, dan hasil larva panen. Untuk tujuan ini, perlu ditimbang berat sampah yang masuk ke larvero dan larva panen. Selisih antara berat sampah yang masuk dengan berat larva yang di panen adalah berat residu yang dihasilkan. Selanjutnya, analisis residu yang dihasilkan untuk mengetahui kadar airnya.
- Catat berat total tiap boks larvero sebelum dipanen. Akan diketahui berat isi larvero dari selisih berat total yang didapat dikurangi dengan berat boks kosong.
- Catat berat total larva yang dipanen.
- Setelah memanen boks larvero, penting untuk mendapatkan sampel residu dan larva untuk menentukan berat dan kadar air. Untuk tujuan ini, ambil tiga boks larvero secara acak dan masukkan sampel tersebut ke dalam cup sampel. Tuang isi cup sampel ke piring dan ambil semua larva. Pastikan untuk tidak menumpahkan sampel cairan karena ini akan mempengaruhi perhitungan berat basah.

Setelah mengambil semua larva, masukkan residu ke dalam cup sampel. Ambil 20 ekor larva dan keringkan dengan tisu sebelum memasukkannya ke dalam cup sampel. Masukkan sisa larva kembali ke boks pemanenan atau ayakan panen. Timbang sampel (larva dan residu) dan keringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 24 jam sebelum cup ditimbang kembali. Dengan melakukan ini, akan diketahui kadar air larva dan residu. Hitung kadar air sampel menurut rumus: Kadar air [%] = [(Berat basah-Berat kering)/Berat basah] \* 100.



Memisahkan residu dari larva dan mengambil larva sampel secara acak



Tiga jenis sampel berupa substrat masuk, residu keluar, dan larva panen yang dimasukkan ke dalam TS oven



**Modul tahap pemanenan dari seri video kuliah online** tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



#### 4.2.4 Pengondisian

Larva BSF yang telah dipanen sebaiknya dilakukan proses purging ataupun proses sanitasi, yang tergantung pada tujuan penggunaan larva untuk proses lanjutan.

##### Purging:

Purging dimulai dengan langkah pencucian untuk menghilangkan sisa residu yang menempel di tubuh larva. Larva yang sudah bersih kemudian dibiarkan di boks purging berisi material kering selama tiga sampai empat jam. Selama proses ini, larva akan mengeluarkan isi perutnya. Setelah purging, larva masih dalam kondisi hidup sehingga proses ini baik untuk tujuan penjualan larva segar.

#### Peralatan dan bahan yang digunakan :



#### Langkah kerja :

- Langkah 1:** Siapkan ember untuk mencuci. Masukkan kerangka pipa plastik ke dalamnya. Pasang saringan pencuci dengan posisi menggantung di dalam ember dan pastikan bagian sisi terikat kuat melingkar pada ember.
- Langkah 2:** Pencucian. Masukkan 10 kg larva panen yang segar ke dalam ayakan. Cuci larva dengan air bersih hingga sisa residu menghilang. Proses ini akan membutuhkan waktu 5 sampai 10 menit.
- Langkah 3:** Purging. Letakkan larva basah ke dalam boks purging. Tambahkan 1 kg material kering, misalnya cocopeat, untuk 10 kg larva basah. Campur cocopeat dan larva, tinggalkan hingga tiga sampai empat jam.
- Langkah 4:** Setelah beberapa jam, akan terlihat larva mengering dan mulai terpisah dari cocopeat. Pisahkan larva dari cocopeat menggunakan ayakan.



Penyiapan ember untuk mencuci. (Langkah 1)



Pencucian larva (Langkah 2)



Purging larva di dalam boks (Langkah 3)



Larva yang terpisah dari cocopeat (Langkah 4)



### STANDAR PAKAIAN PELINDUNG UNTUK PEKERJA:

Gunakan sarung tangan, pelindung mata dan baju pelindung ketika melakukan conditioning.



### Proses sanitasi larva

Diketahui bahwa larva serangga yang diberi pakan sampah organik dapat menimbulkan resiko kesehatan saat diberikan ke ternak jika tanpa dilakukan perlakuan terlebih dahulu. Perlakuan suhu dapat berupa perebusan, penyangraian, (deep-) frying, blanching, dan microwave, meskipun dilakukan dalam waktu yang singkat, terbukti sangat efektif untuk mengurangi berkembangnya bakteri dan jamur vegetatif pada produk akhir. Perlakuan panas terhadap seluruh serangga setelah panen akan mengurangi sebagian besar mikroba hingga di bawah batas deteksi. Namun, telah ditemukan juga bahwa setidaknya beberapa dari endospora bakteri dapat bertahan dari perlakuan panas sehingga dapat menyebabkan kontaminasi ulang pada proses selanjutnya<sup>7</sup>. Teknik pemrosesan secara tradisional, melalui pengeringan ddi bawah sinar matahari tampaknya memiliki pengaruh yang kecil terhadap penurunan bakteri, ragi, dan jamur<sup>8</sup>. Oleh karena itu, terlepas dari metode perlakuannya, perawatan harus dilakukan untuk meminimalkan risiko kontaminasi ulang dengan menjaga lingkungan kerja yang higienis selama pemrosesan lebih lanjut.

<sup>7</sup> Vandeweyer D. (2018) Microbiological quality of raw edible insects and impact of processing and preservation. 197.

<sup>8</sup> Nyangena D, Mutungi C, Imathiu S, et al. (2020) Effects of Traditional Processing Techniques on the Nutritional and Microbiological Quality of Four Edible Insect Species Used for Food and Feed in East Africa. Foods 9: 574.

### Sanitasi:

Untuk proses sanitasi, larva dicelupkan ke dalam air mendidih (blanching) selama 60 detik. Blanching akan membunuh larva dengan cepat sebagai reaksi dari peningkatan suhu secara tiba-tiba – karena pencelupan ke dalam air mendidih – larva mengosongkan isi perutnya. Setelah proses ini, cuci larva dari sisa residu dan kotoran dari perut larva. Setelah itu, direkomendasikan untuk melakukan proses lanjutan secepatnya, karena larva yang sudah mati akan membusuk dengan cepat. Sanitasi akan mempermudah proses pengeringan, karena larva sudah mati dan tidak bergerak lagi selama proses tersebut. Selain itu, semakin cepat proses yang dilakukan untuk membunuh larva, semakin baik untuk hewan dan produk akhir, karena stres dapat berpengaruh negatif terhadap kualitas produk.

### Peralatan dan bahan yang digunakan :



Ember untuk mencuci



Saringan pencuci



Kerangka pipa plastik



Air



Panci untuk air panas



Kompor set



Sendok penyaring

### Langkah kerja :

**Langkah 1:**Persiapan. Panaskan air hingga terlihat gelembung-gelembung naik ke atas atau jika suhu telah mencapai 90°C. Sementara itu, siapkan ember untuk mencuci, dengan memasukkan kerangka pipa plastik ke dalamnya. Pasang saringan pencuci dengan posisi menggantung di dalam ember dan pastikan bagian sisi terikat kuat melingkari ember.

**Langkah 2:**Sanitising. Ambil larva segar setelah panen menggunakan sendok penyaring dan celupkan ke dalam air panas selama 60 detik. Pindahkan larva ke atas saringan pencuci yang telah disiapkan dan ulangi langkah ini hingga saringan pencuci penuh (kurang lebih 10 kg). Ganti air yang kotor dengan air bersih di setiap 50 kg larva.

**Langkah 3:**Pencucian. Cuci larva dengan air hingga bersih dari sisa residu.

**Langkah 4:**Segera mulai proses pengolahan lanjut larva, karena dalam kondisi ini larva akan mulai terdekomposisi (membusuk) dengan cepat. Jika proses pengolahan lanjut tidak memungkinkan untuk dilakukan, simpan larva yang sudah tersanitasi di dalam freezer.



Penyiapan ember untuk mencuci **(Langkah 1)**



Mencelupkan larva ke dalam air panas.  
**(Langkah 2)**



### **STANDAR PAKAIAN PELINDUNG UNTUK PEKERJA:**

- Gunakan sarung tangan, pelindung mata dan baju pelindung.



**Modul pengondisian dari seri video kuliah online** tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



### **4.3 Jadwal kegiatan, monitoring dan pengumpulan data.**

Semua kegiatan yang tercakup dalam bab ini berhubungan dengan konversi sampah organik menggunakan larva Black Soldier Fly. Seperti pada unit pembiakan, jumlah kegiatan yang ada dapat membuat sistem ini rumit untuk dioperasikan. Sebuah jadwal kegiatan disediakan (lihat Lampiran C) untuk menyusun semua kegiatan secara rinci (langkah-demi-langkah), dengan demikian akan menunjukkan gambaran yang terorganisir tentang proses mana yang harus diselesaikan setiap harinya.

Dalam kegiatan yang telah dijelaskan maupun dalam jadwal kegiatan, ada beberapa waktu yang dialokasikan untuk pengumpulan dan pencatatan data agar memberikan gambaran performa siklus pembiakan. Satu lembar pengumpulan data digunakan untuk seluruh kegiatan di unit pembiakan. Namun, karena unit pengolahan jauh lebih besar dan kegiatan yang berbeda tersebar cukup jauh di fasilitas, lembar pengumpulan data yang terpisah perlu disiapkan dan ditempatkan di lokasi yang berbeda, sehingga operator dapat mengisi data di dekat area, dimana kegiatan tersebut dilakukan. Lembar lembar pengumpulan data tersedia di Lampiran E dan F. Lembar ini memungkinkan pencatatan data sampah masuk, sampah untuk pengolahan, sampah di dalam unit, larva panen dan residu yang dihasilkan dari tiap unit, serta hasil kadar bahan kering (TS) sampel. Cara pengumpulan data ini dijelaskan pada masing-masing tahapan pada bab-bab sebelumnya.

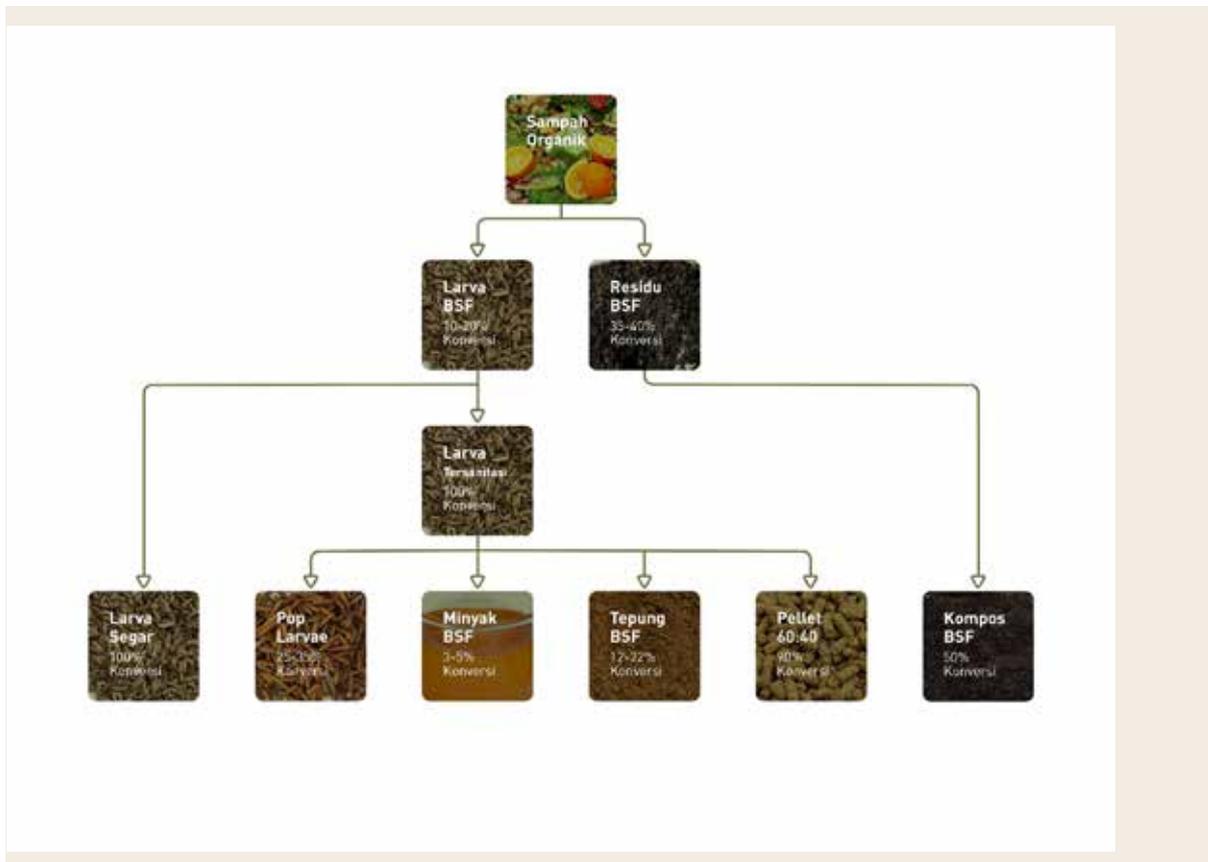


## Bab 5:

# Pengolahan lanjut BSFL dan pemasaran produk

### 5.1 Produk yang dapat dipasarkan dari konversi sampah organik dengan BSFL

Pengolahan sampah organik menggunakan BSFL, menghasilkan dua output utama: larva (10-20% dari berat basah sampah) dan frass (20-40%). Frass dapat diolah lebih lanjut melalui pengomposan agar menjadi kompos yang dapat meningkatkan kualitas tanah. Demikian pula, larva dapat langsung dijual sebagai larva segar atau dapat diproses lebih lanjut menjadi berbagai produk seperti larva kering (pop-larva), BSF meal (tepung BSF), BSF oil (minyak BSF) atau pelet BSF (Gambar 5-1). Semua produk ini berpotensi menjadi sumber pendapatan untuk fasilitas pengolahan sampah organik dengan BSF.



Gambar 5-1: Produk konversi sampah dengan BSFL



Sumber pendapatan lain dapat berupa produk dari unit pembiakan BSF, seperti telur BSF, 5-DOL, atau pupa. Produk unit pembiakan BSF menarik bagi fasilitas BSF lain ataupun pelaku baru usaha ini. Produk ini biasanya dijual dengan volume penjualan rendah, karena peluang pasar yang masih terbatas, akan tetapi produk tersebut dapat dijual dengan harga yang tinggi.



### Penggunaan frass

Jika dibandingkan dengan penggunaan larva sebagai pakan hewan, penelitian mengenai penggunaan frass belum begitu maju. Namun, penelitian mengenai uji coba pertumbuhan dengan berbagai jenis tanaman pertanian, menunjukkan hasil yang menjanjikan ketika frass digunakan sebagai bahan pembenah tanah. Frass tampaknya cocok digunakan, baik sebagai pengondisi tanah, pengganti pupuk sintetis atau sebagai pengganti gambut dalam hortikultura, terlepas dari jenis sampahnya dan apakah frass menjalani proses pengomposan sebelum aplikasi ataupun tidak<sup>9,10,11</sup>. Kesesuaian penggunaan frass segar juga telah diuji untuk produksi biogas, dimana hasilnya menunjukkan bahwa potensi biometana mirip dengan substrat konvensional yang digunakan dalam penguraian anaerobik, dengan kadar biometana yang sedikit lebih tinggi dari kotoran ternak, tetapi lebih rendah dari sampah sisa makanan<sup>12</sup>.

Penelitian lain menunjukkan bahwa frass juga bisa digunakan sebagai pengganti bahan nabati dalam pakan ikan. Tingkat pertumbuhan yang baik dicapai dalam uji coba pemberian pakan ke ikan lele atau nila. Bahan baku awal (untuk menghasilkan frass) tentu saja sangat penting dalam kasus ini. Penggunaan frass dalam makanan ikan nila bahkan terbukti bermanfaat, dengan meningkatkan komponen kekebalan bawaan dan daya tahan ikan nila terhadap infeksi bakteri<sup>13</sup>.

- <sup>9</sup> Menino R, Felizes F, Castelo-Branco M, et al. (2021) Agricultural value of Black Soldier Fly larvae frass as organic fertilizer on ryegrass. *Heliyon* 7: e05855.
- <sup>10</sup> Setti L, Francia E, Pulvirenti A, et al. (2019) Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae processing residue in peat-based growing media. *Waste Management* 95: 278-288.
- <sup>11</sup> Beesigamukama D, Mochoge B, Korir NK, et al. (2020) Exploring Black Soldier Fly Frass as Novel Fertilizer for Improved Growth, Yield, and Nitrogen Use Efficiency of Maize Under Field Conditions. *Frontiers in Plant Science* 11.
- <sup>12</sup> Elissen HJH, Hol S and van der Weide R. (2019) Methane production from insect, worm and mushroom waste streams and combinations. Wageningen University & Research.
- <sup>13</sup> Yildirim Aksoy M, Eljack R, Schrimsher C, et al. (2020) Use of dietary frass from black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, in hybrid tilapia (Nile x Mozambique, *Oreochromis niloticus* x *O. mozambique*) diets improves growth and resistance to bacterial diseases. *Aquaculture Reports* 17: 100373.

### Pemasaran produk BSFL

Salah satu pilihannya adalah pemasaran langsung larva segar ke pembeli. Karena larva akan terus berkembang bahkan setelah panen dan dengan cepat berubah menjadi prapupa dan pupa, pengangkutan dan pemberian pakan ke hewan perlu dilakukan dengan segera. Karena tidak adanya biaya pemrosesan tambahan yang diperlukan, maka harga jualnya pun lebih rendah, walaupun mungkin biaya tambahan akan dibutuhkan untuk pengiriman. Klien potensial, misalnya peternak ayam atau ikan yang berlokasi dekat dengan fasilitas pengolahan sampah organik dengan BSF. Untuk memiliki pendapatan tetap, hubungan yang baik dengan komunitas peternak akan menjadi sangat penting, sehingga larva akan selalu diambil (atau dikirim) setiap hari dan kerugian dapat diminimalkan.



Mengganti pakan ayam komersial hingga 30% atau pakan lele komersial hingga 50%, menghasilkan performa pertumbuhan yang hampir sama atau lebih baik untuk hewan tersebut. Berdasarkan harga BSFL dan harga pakan komersial pada tahun 2021, mengganti pakan komersial dengan BSFL dapat menghemat biaya yang dikeluarkan oleh peternak. Untuk detailnya, dapat dilihat di lembar fakta kami (fact sheets).



Ayam



Ikan lele

Pengolahan lanjut memudahkan penyimpanan, pengangkutan dan juga aktivitas pemasaran produk BSFL. Keuntungan ini dapat menaikkan harga jual produk, terutama ketika terjadi fluktuasi permintaan. Pada saat yang sama, pengolahan lanjut akan meningkatkan biaya operasional. Oleh karena itu, untuk bisnis yang sukses, pemilihan target pasar yang tepat sangatlah penting.

Jika sumber pendapatan utama anda adalah dengan menjual larva, kami rekomendasikan untuk melakukan analisa pasar terlebih dahulu sebelum memulai bisnis BSF. Biasanya ada dua tujuan utama pasar: sektor pakan ternak dan pakan hewan peliharaan. Berikut ini adalah kegiatan untuk membantu mengenali potensial pasar:

1. Tentukan produk pengganti yang potensial
2. Hitung ukuran pasar dari produk pengganti ini (volume penjualan dalam kg per bulan)
3. Hitung nilai pasar dari produk pengganti ini (volume penjualan dalam IDR per bulan)
4. Pelajari kisaran harga dari produk yang paling dikenal di pasar
5. Pelajari regulasi yang berlaku untuk produk

Produk pengganti potensial adalah produk yang mirip dengan produk BSFL, seperti produk pakan berbahan dasar serangga yang lain atau pelet yang mengandung kedelai atau tepung ikan, yang dapat digantikan oleh tepung BSF. Bergantung pada lingkungan pasar, banyak informasi yang dapat dipelajari secara online. Untuk pasar informal, berbicara langsung dengan pengecer dapat membantu.



Kami telah melakukan analisis pasar di Jawa Timur, Indonesia, di mana kami berfokus pada sektor pakan unggas, budidaya perairan (akuakultur), serta pasar lokal untuk pakan hewan peliharaan. Metodologi dan hasil dijelaskan dalam laporan secara detail.



### **Potensi biaya pengolahan (gate fee) sebagai tambahan penghasilan**

Satu sumber pendapatan yang mungkin untuk fasilitas pengolahan sampah organik pada umumnya dan fasilitas BSF secara khusus adalah dengan pengambilan biaya “pengolahan”. Biaya ini mirip seperti biaya tip (tipping fee) di tempat pembuangan sampah (TPA), di mana ada biaya yang dibebankan untuk dapat membuang sampah disana. Bergantung pada tingkat biaya tersebut, hal ini dapat berdampak kuat pada daya saing dan kelayakan finansial fasilitas BSF, karena dapat mensubsidi biaya produksi. Meski demikian, kualitas sampah yang dikirim harus terjamin kualitasnya, agar tidak terjadi kontaminasi yang signifikan atau biaya tambahan untuk pemilahan sampah. Tarif biaya pengolahan atau gate fee sangat bervariasi dari satu daerah ke daerah lain. Fasilitas komposting di negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah, contohnya memberlakukan tarif biaya antara 5.- dan 50.- USD/ton (70,000 sampai 700,000 IDR/ton) sampah yang diterima. Peningkatan permintaan jenis sampah tertentu dapat berdampak kuat pada harga. Di Jerman, gate fee telah turun dari 50.- USD/ton menjadi nol, di wilayah di mana beberapa fasilitas pengelolaan sampah bersaing untuk mendapatkan sampah organik.



Studi kasus di Surabaya menunjukkan potensi pasar untuk berbagai produk BSFL ada di pasar pakan hewan peliharaan. Temukan semua detail di lembar fakta kami.





Berbagai produk BSFL telah diujicobakan pada ikan hias dan burung hias. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk BSFL mampu bersaing dengan produk konvensional pakan hewan peliharaan dalam hal kualitas dan harga. Temukan semua detail di lembar fakta kami.



### Produk BSFL

Berdasarkan studi pasar, beberapa produk BSFL berpotensi untuk menghasilkan pendapatan. Kualitas dan penggunaan produk BSFL bergantung pada sejauh mana pengolahan lebih lanjut dilakukan. Jika larva segar tidak dilakukan pengolahan lanjutan, perlu dilakukan proses pengeringan untuk mendapatkan larva kering, serta proses ekstraksi dan pengilangan minyak perlu dilakukan untuk mendapatkan tepung BSF dan minyak BSF, sebagai proses lanjutan pengeringan. Tabel 5-1 memberikan gambaran tentang produk BSFL, tahapan pengolahan lanjut yang diperlukan, aplikasi dan parameter kualitas termasuk aktivitas air, umur simpan, dan parameter nutrisi. Aktivitas air adalah ukuran air bebas yang ada dalam produk, yang mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme. Aktivitas air yang lebih rendah dari 0.6 akan menghambat pertumbuhan bakteri dan jamur. Aktivitas air dan kandungan lemak yang rendah dapat memperpanjang umur simpan produk BSFL. BSFL sebagian besar terdiri dari protein dan lemak, oleh karena itu hanya kedua parameter nutrisi tersebut yang tercantum pada tabel. Kandungan protein dan lemak akan berada di angka kisaran, karena parameter ini bergantung pada jenis sampah yang dimakan oleh larva. Kandungan lemak, dapat sangat bervariasi antara 20 dan 40% pada larva kering, yang berpengaruh pada persentase protein dari larva kering. Larva segar dan larva kering dapat digunakan langsung sebagai produk pakan, sedangkan tepung BSF dan minyak BSF adalah bahan mentah, misalnya ditambahkan untuk pakan berupa pelet.

Tabel 5-1: Gambaran produk dari BSFL



Produk	Larva segar	Larva kering	Tepung BSF	Minyak BSF
<b>Proses</b>	Tidak ada	Pengeringan	Pengeringan + Fraksionasi	Pengeringan + Fraksionasi
<b>Protein %*</b>	6 - 10	30 - 40	50 - 65	0
<b>Lemak %*</b>	6 - 10	20 - 40	8 - 15	100
<b>Aktivitas air</b>	0.9	0.4	0.3	-
<b>Umur simpan</b>	1-2 hari	4 bulan	6 bulan	2 bulan
<b>Transportasi/Penyimpanan</b>	Boks terbuka	Pengemasan tersegel	Pengemasan tersegel	Pengemasan tersegel
<b>Aplikasi</b>	Pakan langsung	Pakan langsung	Bahan mentah	Bahan mentah

\* nilai berdasarkan pada berat basah

## Pengeringan

Penghilangan air, hingga mengurangi aktivitas air menjadi 0.4, (yang berada jauh di bawah ambang batas 0.6 seperti yang telah disebutkan) dapat menghambat mikroba dan aktivitas enzimatik sehingga produk dapat disimpan sampai 4 bulan. Dengan penguapan air yang terjadi, nutrisi yang tersisa dalam produk menjadi lebih pekat, yang berarti larva kering memiliki kandungan protein yang lebih tinggi per berat yang dapat dijual dibandingkan dengan larva segar.

Larva kering bisa langsung dijual sebagai produk pakan. Aspek visual larva kering merupakan salah satu aspek penting yang dapat menentukan nilai pasarnya, terutama untuk pakan pasar hewan peliharaan. Karakteristik warna, tekstur, dan bentuk larva kering tergantung pada teknik pengeringan yang diterapkan. Di sini, empat metode pengeringan yang berbeda akan diperkenalkan, yang dapat dikategorikan ke dalam proses pengeringan cepat dan lambat. Selama proses pengeringan cepat, air di dalam larva menguap dengan cepat, yang menyebabkan penumpukan tekanan di dalam larva ke proses pelepasan tekanan dengan cepat sehingga mengakibatkan larva mengembang dan renyah atau disebut "pop-larva". Pengeringan dengan microwave ataupun penyangraian adalah dua metode pengeringan cepat dan menghasilkan pop-larva. Larva sangrai biasanya menunjukkan warna yang lebih gelap (lihat Gambar 5-2). Warna yang lebih gelap dihasilkan dari reaksi induksi panas pada proses penyangraian yang meliputi perubahan warna. Sebaliknya, microwave hanya menghasilkan sedikit reaksi induksi panas sehingga warna kuning pucat larva tetap bertahan di produk pop-larva. Dalam proses pengeringan lambat seperti pengeringan oven, air menguap perlahan dan kulit larva terus menyusut hingga mencapai berat yang konstan. Produk yang dihasilkan pun kurang bervolume, serta teksturnya keras dan kaku (lihat Gambar 52). Produk yang lebih besar dan bervolume, yang dihasilkan dari pengeringan cepat terbukti terlihat lebih menarik bagi sebagian besar pembeli dan karenanya memiliki nilai pasar yang lebih tinggi.



Gambar 5-2: Produk larva kering

Selain tampilan visual produk kering yang berbeda, metode pengeringan juga dapat dibedakan berdasarkan parameter proses, yang tercantum pada Tabel 5-2. Pemanasan microwave membutuhkan aliran listrik, namun merupakan proses yang hemat energi dan sederhana. Di sini kami menjelaskan proses pemanasan microwave menggunakan microwave dapur yang sederhana, yang sesuai untuk penggunaan skala kecil karena hanya membutuhkan modal dan ruang minim. Akan tetapi, ada juga microwave skala industri, yang membutuhkan investasi lebih besar tetapi memungkinkan pemrosesan dengan jumlah larva terproses (batch) yang lebih besar pula. Seperti biji kopi atau kacang, BSFL dapat dipanggang di drum dryer/pengering drum. Pengering drum dilengkapi dengan drum berinsulasi panas yang baik, kipas buang (exhaust-fan), struktur sirip di dalam drum untuk membalik larva serta pembakar yang efisien untuk memanaskan drum dari bawah. Alternatif skala kecil untuk pengering drum adalah sangrai pasir dalam wajan yang lebar, mirip dengan teknik menyangrai pasir yang banyak digunakan oleh penjual makanan jalanan di negara-negara Asia dan Sub-Sahara, untuk membuat camilan (snack) yang bernilai tambah, dari bahan baku sereal atau kacang-kacangan. Sebagai media pemindah panas, pasir berfungsi untuk mencegah kebakaran dan meratakan panas. Jika dibandingkan dengan sangrai menggunakan drum, penggunaan energi pada sangrai dengan wajan terbuka menjadi kurang efisien. Saat menggunakan oven, larva perlahan-lahan mengalami dehidrasi pada suhu 65°C. Pengeringan suhu yang lebih rendah ini mencegah hilangnya nutrisi penting dan menghindari larva menjadi terpancang atau terbakar. Manfaat pengeringan oven adalah cara pengoperasian yang pasif, sehingga mengurangi kebutuhan tenaga kerja.

Tabel 5-2: Parameter proses terkait dari metode pengeringan yang berbeda



Parameter	Pengeringan microwave	Sangrai (drum)	Sangrai (wajan)	Pengeringan oven
Sumber energi	Listrik	Gas	Gas	Gas
Media panas	Gelombang elektromagnetik	Uap panas	Pasir	Uap panas
Suhu material	Maks. 180°C	Maks. 140°C	Maks. 180°C	Maks. 65°C
Ukuran batch	0.25 kg	5 kg	1 kg	30 kg
Waktu pengeringan	15 menit	40 menit	20 menit	24 jam
Kapasitas hasil	1.0 kg/jam	7.5 kg/jam	3.0 kg/jam	1.3 kg/jam
Penggunaan ruang	0.4 m <sup>2</sup>	2.5 m <sup>2</sup>	0.4 m <sup>2</sup>	2 m <sup>2</sup>
Penggunaan energi/kg larva kering <sup>1</sup>	3.7 kWh	8.2 kWh	12.2 kWh	10.9 kWh

<sup>1</sup>Penggunaan energi yang ditampilkan dalam kWh. 1 kg gas setara dengan 3.7 kWh.

### Fraksionasi dan pemurnian

Kandungan lemak yang tinggi dari larva kering mungkin tidak menguntungkan, karena pakan standar biasanya membutuhkan kandungan lemak di bawah 10%. Selain itu, kandungan lemak yang tinggi membuat produk lebih rentan terhadap oksidasi lipid, yang dapat menghasilkan rasa dan tekstur yang tidak menyenangkan. Selain itu, pemrosesan lebih lanjut BSFL kering menjadi pelet atau produk olahan lainnya mungkin sulit dilakukan, karena jumlah lemak yang tinggi dapat menyebabkan penyumbatan mesin. Lemak pada larva kering dapat diekstraksi secara mekanis, menggunakan screw press yang biasanya digunakan untuk kacang-kacangan dan biji-bijian. Proses ini disebut fraksionasi, karena larva dipecah menjadi fraksi protein (tepung BSF) dan fraksi lemak (minyak BSF). Langkah pertama, screw press memeras lemak keluar dari larva dan menghasilkan press cake dan press liquid. Langkah kedua yaitu pemurnian, menghasilkan tepung BSF dari press cake dan minyak BSF dari press liquid. Karena kandungan proteinnya yang tinggi, tepung BSF berpotensi sebagai pengganti tepung ikan atau tepung kedelai. Minyak BSF mengandung asam lemak penting dan berpotensi menjadi alternatif untuk minyak kelapa atau minyak inti sawit. Fraksionasi dapat memperlama umur simpan tepung BSF hingga 6 bulan. Tepung dan minyak BSF merupakan bahan mentah, yang dapat digunakan untuk berbagai produk akhir dan dapat diproses lebih lanjut melalui proses pelet atau saponifikasi.



Pemrosesan basah adalah ketika BSFL dipres tanpa proses pengeringan terlebih dahulu, menggunakan nut screw press. Temukan detail untuk proses ini di lembar fakta berikut.



Untuk formulasi pakan dengan tepung BSF, kualitas protein menjadi hal penting untuk diperhatikan. Kualitas protein tergantung pada kandungan asam amino. Asam amino adalah bahan penyusun protein dan setiap hewan membutuhkan asam amino dalam jumlah tertentu dalam pakannya, agar dapat tumbuh dan berkembang dengan baik. Sumber protein lain seperti tepung ikan atau tepung kedelai, memiliki kandungan asam amino yang berbeda dengan kandungan asam amino yang dimiliki tepung BSF. Saat memformulasikan pakan menggunakan tepung BSF, ada baiknya untuk menganalisis kandungan asam amino terlebih dahulu, lalu dibandingkan dengan sumber protein yang umum digunakan, misalnya tepung ikan.

Kualitas dan penggunaan minyak BSF bergantung pada komposisi asam lemaknya, karena setiap jenis minyak mengandung asam lemak yang berbeda. Minyak BSF biasanya mengandung asam laurat dalam jumlah tinggi, yang membuatnya sebanding dengan minyak inti sawit atau minyak kelapa. Komposisi asam lemak dipengaruhi oleh jenis sampah yang dimakan oleh larva. Perbedaan komposisi asam lemak dapat terlihat pada konsistensi minyak. Jadi, minyak BSF dapat berupa padat atau cair pada suhu kamar juga tergantung pada komposisi asam lemak.



Contoh analisis asam amino dan asam lemak, serta bagaimana perbandingannya dengan sumber protein dan sumber minyak lain, masing-masing, dijelaskan dalam lembar fakta berikut.

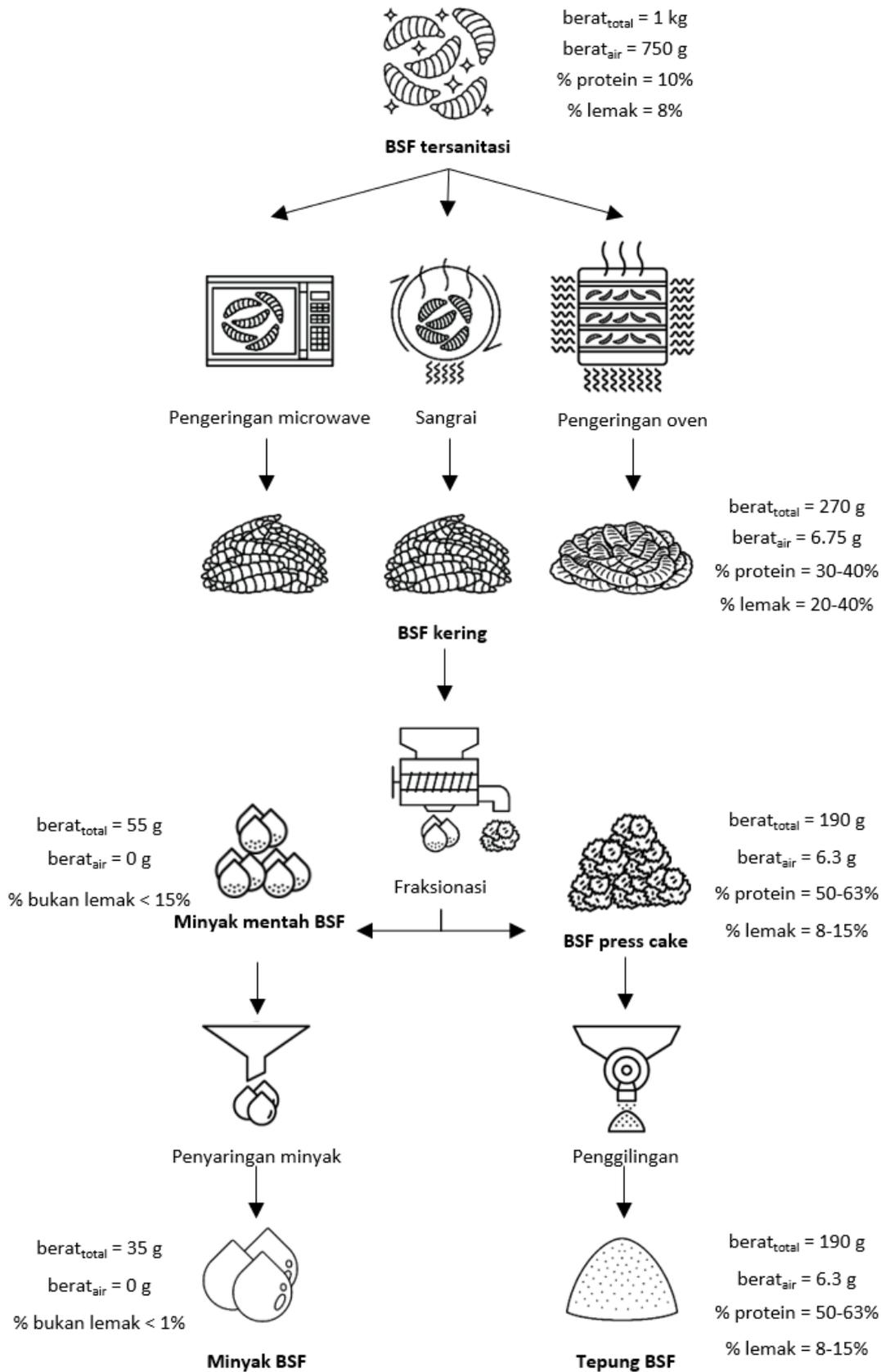


Karena kesamaan minyak BSF dengan minyak kelapa, maka minyak BSF dapat digunakan sebagai bahan pembuatan sabun batangan. Temukan semua detail tentang cara membuat sabun batangan di lembar fakta berikut.



## 5.2 Langkah operasional

Gambar 5-3 mengilustrasikan diagram alir dari opsi pengolahan lanjut dan keseimbangan massa di tiap tahap pemrosesan. Larva yang sudah disanitasi mengandung sekitar 75% air, protein dan lemak masing-masing menyumbang sekitar 10% dari berat basah. Pada tahap pengeringan, air menguap sehingga mengurangi berat sekitar 70%. Nutrisi yang tersisa menjadi lebih terkonsentrasi, menghasilkan kandungan protein antara 30 dan 40%, serta kandungan lemak antara 20 dan 40% dari berat kering. Dengan fraksionasi, larva kering dipres menjadi press cake (sekitar 70%) dan minyak mentah BSF (sekitar 20%). Selama pengepresan panas, sebagian air yang tersisa menguap (sekitar 10%). Press cake kemudian digiling menjadi bubuk tepung. Selama tahap pemurnian ini, keseimbangan massa tidak berubah, hanya ukuran partikel yang dikurangi. Pengilangan minyak mentah BSF di tahap selanjutnya, dapat mengurangi massa minyak hingga 40%, karena padatan dalam minyak tersaring. Setiap tahap pemrosesan akan dijelaskan lebih lanjut secara detail dalam bab ini.



Gambar 5-3 Diagram alir proses dan keseimbangan massa pengolahan lanjut larva BSF.

### 5.2.1 Pengeringan microwave

Kami gambarkan cara kerja pengeringan microwave menggunakan microwave dapur yang sederhana. Namun, prinsip yang sama seperti yang dijelaskan di sini juga berlaku untuk microwave skala besar.

#### Peralatan dan bahan yang dibutuhkan:



**Microwave**  
32 L  
1000 W  
Kapasitas: 0.9 kg/jam



**Piring keramik**



**Timbangan**  
Kapasitas maks.: 35 kg  
Akurasi:  $\pm 0.5$  g



**Sarung tangan anti panas**



**Wadah penyimpanan**



**Centong**

#### Langkah kerja:

**Langkah 1:** Timbang 250 g larva tersanitasi ke atas piring keramik khusus microwave dan ratakan.

**Langkah 2:** Masukkan piring ke dalam microwave dan mulai proses pengeringan dengan 3 siklus selama 5 menit/siklus - pada daya tertinggi (1000 Watt). Setiap 5 menit, buka microwave selama 30 detik untuk mengeluarkan uapnya, kemudian balik menggunakan centong. Uap yang terlalu banyak di dalam microwave, dapat menyebabkan larva menjadi lembab dan basah, dan juga pengeringan akan lebih lama jika uap tidak dikeluarkan. Selama siklus terakhir akan terdengar suara khas «meletup».



Larva diratakan di atas piring (**Langkah 1**)



Atur waktu selama 5 menit  
(**Langkah 2**)

**Langkah 3:** Periksa apakah kualitas produk memenuhi 2 indikator:

- Indikator 1: larva harus mengembang
- Indikator 2: larva harus renyah dan kering. Ketika anda meremasnya dengan jari, larva akan hancur dengan mudah menjadi serpihan.

Jika tidak sesuai indikator, dan larva yang didapatkan masih lembab dan basah, lakukan kembali pengeringan dengan tambahan waktu selama 2-3 menit - pada daya tertinggi. Ketika larva yang dihasilkan telah sesuai indikator, keluarkan larva dari dalam microwave.

**Langkah 4:** Timbang larva dan catat beratnya pada lembar pengumpulan data. Biarkan larva dingin sebelum disimpan ke dalam wadah yang besar dan rapat. Berikan label pada wadah, tertanggal produksi larva kering/pop-larva.



**Langkah 3:** Mengecek tekstur larva



**Langkah 4:** Menimbang dan menyimpan larva kering



#### **STANDAR PAKAIAN PELINDUNG UNTUK PEKERJA:**

- Gunakan sarung tangan, pelindung mata, dan pakaian pelindung selama melakukan aktivitas menggunakan microwave.



#### **POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:**

- Timbang larva sebelum dan sesudah proses pengeringan dan catat pada lembar pengumpulan data.



**Modul pengeringan dengan microwave dari seri video kuliah online** tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



### 5.2.2 Penyangraian

Proses penyangraian digambarkan berdasarkan mesin penyangrai kopi yang diproduksi di Surabaya, Indonesia. Pada dasarnya, proses ini menggunakan mesin pengering yang berputar. Saat membeli atau membuat drum dryer, penting untuk dipastikan bahwa mesin dilengkapi dengan drum berinsulasi panas yang baik, kipas buang, struktur sirip di dalam drum untuk membalik larva serta pembakar yang efisien.

#### Peralatan dan bahan yang dibutuhkan:



##### Penyangrai kopi

Motor: 350 W  
Kipas buang: 700 W  
Volume drum: 0.46 m<sup>3</sup>  
Kapasitas: 6.5 kg/h



##### Gas LPG



##### Sarung tangan tahan panas



##### Timbangan

Kapasitas maks.: 150 kg  
Akurasi: ± 50



##### Boks

(60x40x15 cm)



##### Wadah penyimpanan

#### Langkah kerja:

**Langkah 1:** Siapkan mesin penyangrai kopi untuk digunakan. Pasang gas LPG ke mesin penyangrai kopi.

Nyalakan sakelar utama – panel kontrol akan menyala – dengan panel kontrol, anda dapat menyalakan putaran, kipas buang, dan pemanas. Setel suhu ke 140°C, dan panaskan drum terlebih dahulu saat putaran dan kipas angin menyala.

**Langkah 2:** Ketika drum mencapai suhu 140°C, masukkan 5 kg larva ke dalam drum melalui corong masuk. Biarkan larva tersangrai selama total kurang lebih 40 menit. Anda akan melihat bahwa suhu turun di awal menjadi sekitar 80-90°C. Semakin banyak air yang menguap, suhu mulai naik kembali – inilah saat proses penyangraian yang sebenarnya dimulai. Anda dapat memeriksa prosesnya, dengan mengambil sampel dari waktu ke waktu.



**Langkah 2:** Memasukkan larva ke dalam drum melalui corong masuk.



**Langkah 3:** Mengosongkan drum melalui pintu penutup depan.

**Langkah 3:** Hentikan proses jika dua indikator sudah terpenuhi:

- Indikator 1: larva harus sudah berbentuk kembang
- Indikator 2: larva harus memiliki tekstur renyah dan kering.

Saat Anda menghancurkan larva dengan jari, larva akan mudah hancur menjadi serpihan halus. Indikator ini biasanya didapatkan setelah pengering dioperasikan selama 5-10 menit pada 140°C. Keluarkan larva dari pengering dengan membuka pintu penutup depan.

**Langkah 4:** Timbang berat larva kering dan catat pada lembar pengumpulan data. Biarkan pop-larva dingin sebelum anda menyimpannya ke dalam wadah tertutup. Beri label pada wadah dengan tanggal produksi pop-larva.



**Modul penyangraian drum dari seri video kuliah online** tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



Alternatif skala kecil penyangraian menggunakan drum, dengan mempertimbangkan keterbatasan sumber daya yang tersedia, adalah teknik sangrai pasir dengan menggunakan wajan. Pasir yang ideal untuk metode ini adalah pasir pantai dengan ukuran partikel 0.8-1.5 mm. Sebaiknya ganti pasir setelah 5 siklus pengeringan. Karena pasir yang terbakar dan gelap akan menghasilkan larva yang terbakar dan berwarna gelap pula.

## Peralatan dan bahan yang dibutuhkan:



**Set Wajan dan kompor**  
Diameter wajan: 30 cm  
Kapasitas: 2.5 kg/h



**Saringan spatula**



**Spatula**



**Sarung tangan tahan panas**



**Wadah penyimpanan**



**Pasir pantai**  
Ukuran partikel:  
0.8-1.5 mm



**Timbangan**  
Kapasitas maks.: 35kg  
Akurasi:  $\pm 0.5$  g



**Korek api**

## Langkah kerja:

**Langkah 1:** Masukkan 1 kg pasir ke wajan, nyalakan kompor dan panaskan selama 15 menit.

**Langkah 2:** Masukkan 1 kg larva yang sudah melalui proses sanitasi ke dalam pasir, dan sangrai selama 15 sampai 20 menit dengan diaduk terus menerus. Selama 5 menit terakhir akan terlihat larva mengembang dan terdengar suara letupan. Anda akan mendengar suara «letupan» berkurang di akhir proses.



Memanaskan 1 kg pasir di wajan. (**Langkah 1**)



Memasukkan 1 kg BSFL ke pasir yang sudah panas. (**Langkah 2**)

**Langkah 3:** Hentikan proses saat dua indikator berikut terpenuhi:

- Indikator 1: larva sudah mengembang
- Indikator 2: tekstur larva sudah renyah dan kering. Saat Anda menghancurkan larva dengan jari, larva akan mudah hancur menjadi serpihan halus.

Jika indikator ini belum terlihat dan larva masih lembab atau basah, lanjutkan proses mengaduk dan menyangrai.

**Langkah 4:** Pindahkan larva dari wajan dengan saringan spatula, dan timbang larva kering kemudian catat beratnya di lembar pengumpulan data. Biarkan pop-larva sampai dingin sebelum disimpan ke dalam wadah tertutup. Beri label pada wadah dengan tanggal produksi.



**Langkah 4:** Mengambil larva kering dari wajan menggunakan saringan spatula. Mengayak dengan saringan spatula akan memisahkan pasir dari larva.



#### **STANDAR PAKAIAN PELINDUNG UNTUK PEKERJA:**

- Gunakan sarung tangan tahan panas, pelindung mata dan pakaian pelindung selama melakukan aktivitas penyangraian.



#### **POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:**

- Timbang berat larva sebelum dan sesudah pengeringan dan catat di lembar pengumpulan data.



**Modul penyangraian dengan pasir dari seri video kuliah online** tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



### 5.2.3 Pengeringan oven

Dalam oven pemanas sederhana menggunakan gas, seperti yang ditunjukkan di sini, sirkulasi udara tidak cukup untuk memastikan distribusi panas yang merata untuk pengeringan. Oleh karena itu, penting untuk memindah-posisikan nampan di dalam oven, sehingga akan membantu proses pengeringan yang merata. Biasanya, BSFL yang ada di nampan bagian bawah dan atas lebih cepat kering daripada di bagian tengah. Karenanya, pindah-posisikan nampan dari atas atau bawah ke bagian tengah oven. Idealnya akan lebih baik untuk memasang kipas di dalam oven, agar distribusi panas merata ke seluruh area di dalam oven.

#### Peralatan dan bahan yang dibutuhkan:



##### Oven statis dengan thermostat

Thermostat: TGW IL-80EM  
Pemanas: Kompor (RI 511A)



##### Timbangan

Kapasitas maks.: 150 kg  
Akurasi:  $\pm 50$  g



##### Nampan jaring

Ukuran jaring: 4mm  
Dimensi: 65x45x3.5mm



##### Gas LPG



##### Sarung tangan tahan panas



##### Wadah penyimpanan

#### Langkah kerja:

**Langkah 1:** Pasang gas LPG ke kompor oven, nyalakan kompor dan atur thermostat pada suhu 65°C.

**Langkah 2:** Tambahkan 3 kg larva yang sudah disanitasi ke tiap nampan (total 10 nampan), lalu masukkan ke dalam oven. Larva akan mengering dalam satu sesi malam selama 16 jam, sesi pagi selama 4 jam, dan sesi terakhir siang selama 4 jam. Di antara ketiga sesi ini nampan perlu dipindah-posisikan.



**Langkah 1:** Mengatur thermostat pada suhu 65°C.



**Langkah 2:** Memasukkan nampan dengan BSFL yang sudah tersanitasi ke dalam oven.

**Langkah 3:** Hentikan proses setelah 24 jam pengeringan dan periksa indikator berikut:

- larva bertekstur keras dan kering
- larva berbentuk datar dan menciut

**Langkah 4:** Timbang berat larva kering (total dari semua nampan) dan catat berat di lembar pengumpulan data. Biarkan larva dingin sebelum dimasukkan ke dalam wadah tertutup. Beri label wadah dengan tanggal produksi.



#### **STANDAR PAKAIAN PELINDUNG UNTUK PEKERJA:**

- Gunakan sarung tangan tahan panas, pelindung mata dan pakaian pelindung selama melakukan aktivitas pengeringan oven.



#### **POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:**

- Timbang larva sebelum dan sesudah pengeringan (per batch dari total 10 nampan) dan catat di lembar pengumpulan data



**Modul pengeringan oven dari seri video kuliah online** tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



### 5.2.4 Fraksionasi

Lemak dari larva kering dapat diekstraksi secara mekanis menggunakan screw press. Proses ini menghasilkan BSF press cake dan minyak mentah BSF. BSF press cake bertekstur kering tapi kasar dan tinggi protein. Minyak mentah BSF disebut “kasar (crude oil)” karena selain lemak, produk ini juga mengandung padatan, yang bagian utamanya terdiri dari protein dan serat.

#### Peralatan dan bahan yang dibutuhkan:



**Screw press**

Model: Vevor DL-ZYJ10B  
Kapasitas: 5kg/h



**Wadah untuk press cake**

Boks plastik: 55x35x12mm



**Mangkuk untuk press liquid**

5 L, stainless steel



**Saringan**

Ukuran saringan: 0.5 mm,  
Stainless steel



**Kunci L**



**Timbangan**

Kapasitas maks.: 35 kg  
Akurasi:  $\pm 0.5$  g

#### Langkah kerja:

- Langkah 1:** Siapkan screw press. Nyalakan mesin dan panaskan hingga 100°C, letakkan wadah di bawah masing-masing corong keluaran (outlet): wadah besar untuk press cake diletakkan di bagian depan mesin bawah corong, sementara wadah kecil untuk minyak diletakkan di bawah celah bukaan corong keluaran screw press. Letakkan saringan di atas wadah pengumpulan minyak. Mulai proses dengan menekan tombol squeeze.
- Langkah 2:** Timbang larva kering yang akan diproses, menggunakan timbangan. Masukkan larva kering ke dalam corong pemasukan, sedikit demi sedikit. Jangan memasukkan terlalu banyak larva kering agar tidak terjadi penyumbatan di dalam mesin, sehingga dapat meningkatkan hasil per hitungan jam.
- Langkah 3:** Setelah semua larva dimasukkan melalui corong pemasukan, tunggu beberapa menit sampai tidak ada lagi press cake dan press liquid yang keluar dari mesin, lalu hentikan mesin (dengan menekan tombol stop). Kosongkan semua bahan yang masih tertinggal di dalam mesin (dengan menekan tombol cleaning).



Menyiapkan screw press (**Langkah 1**)



Memasukkan sedikit demi sedikit larva kering ke corong pemasukan. (**Langkah 2**)



Tunggu hingga press-cake berhenti keluar. (**Langkah 3**)

**Langkah 4:** Timbang berat press cake dan press liquid (crude oil) yang didapat, catat dalam lembar pengumpulan data. Segera lakukan proses lanjutan yaitu tahap pemurnian atau simpan sementara kedua produk ke dalam wadah penyimpanan yang tertutup. Beri label wadah dengan tanggal produksi.

**Langkah 5:** Kami sarankan untuk membersihkan mesin setiap kali selesai digunakan, untuk menjamin keamanan dan kualitas produk, sehingga tidak ada produk lama yang tertinggal di mesin yang dapat mengontaminasi produk baru. Pembersihan yang teratur juga dapat memperlama masa pakai mesin. Untuk proses pembersihan, tunggu sampai mesin dingin, lalu lepaskan sekrup dengan kunci L, dan cuci semua bagian dengan sabun dan air.



#### **STANDAR PAKAIAN PELINDUNG PEKERJA:**

- Gunakan sarung tangan, pelindung mata dan pakaian pelindung selama melakukan aktivitas fraksinasi.



#### **POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:**

- Timbang berat larva kering sebelum diproses dan timbang berat press cake dan minyak mentah BSF setelah proses. Catat berat di lembar pengumpulan data.



**Modul fraksinasi dari seri video kuliah online** tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



### 5.2.5 Pemurnian

Kedua produk yang dihasilkan dari proses fraksinasi, yaitu BSF press cake dan minyak mentah BSF, harus dilakukan pemurnian. Perlu dilakukan proses penggilingan BSF press cake untuk mengecilkan ukuran partikel. Karena minyak mentah BSF masih mengandung padatan, maka produk ini harus dimurnikan dengan penyaringan atau decanting untuk meningkatkan kemurniannya.

### Penggilingan

Untuk memastikan ukuran partikel tepung protein BSFL yang halus dan homogen, press cake kering harus digiling dengan ukuran mesh 100 hingga 200  $\mu\text{m}$ . Press cake kering memiliki tekstur yang kasar, namun jika anda berniat menggunakan ekstruder dan mesin pelet, maka membutuhkan bahan yang halus sebagai bahan baku pembuatannya. Itulah mengapa penggilingan merupakan langkah penting pemurnian untuk mendapatkan bahan baku yang berkualitas tinggi.

### Peralatan dan bahan yang dibutuhkan:



**Mesin giling**

Model: AGR-GRP-180  
Kapasitas: 60kg/h



**Kain untuk  
mengumpulkan tepung**



**Boks untuk  
menampung tepung**

Boks plastik: 55x35x12mm



**Wadah penyimpanan**



**Timbangan**

Kapasitas maks.: 35 kg  
Akurasi:  $\pm 0.5$  g

### Langkah kerja:

**Langkah 1:** Siapkan mesin giling. Letakkan wadah untuk menampung tepung di bawah dua corong keluaran (outlet): outlet utama dan outlet residu. Tutup kedua outlet dengan kain dan nyalakan mesin giling.



Menyiapkan mesin giling. (Langkah 1)



Memasukkan press cake ke mesin giling. (Langkah 2)



Pengumpulan tepung BSF (Langkah 3)

**Langkah 2:** Masukkan press cake secara berkala ke dalam corong hingga semuanya digiling.

**Langkah 3:** Matikan mesin giling dan lepaskan kain.

**Langkah 4:** Timbang tepung BSF dan catat di lembar pengumpulan data. Simpan tepung di dalam wadah penyimpanan tertutup dan beri label tanggal produksi.



#### STANDAR PAKAIAN PELINDUNG PEKERJA:

- Gunakan sarung tangan, pelindung mata dan baju pelindung selama melakukan aktivitas penggilingan.



#### POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:

- Timbang BSF meal dan catat di lembar pengumpulan data.

## Oil refining

Bagian padatan dari minyak mentah BSF mencapai 40% dari total berat. Padatan sebagian besar terdiri dari serat dan protein, yang dapat dipisahkan dari minyak BSF dengan langkah penyaringan ataupun decanting. Karena minyak BSF dapat menjadi padat pada suhu kamar, penyaringan harus dilakukan segera setelah fraksinasi, saat minyak mentah masih hangat. Jika minyaknya padat maka tidak memungkinkan untuk melakukan filtrasi ataupun decanting. Jika ini terjadi, maka minyak padat perlu dipanaskan sebentar agar menjadi cair. Anda perlu memanaskan minyak sedikit agar menjadi cair. Proses pemurnian minyak, penting dilakukan untuk dapat dicampurkan dalam produk lain, seperti pelet ataupun sabun BSF.

### A) Oil filtering

Penyaringan atau filtrasi dapat menahan semua padatan, sementara minyak melewati penyaring. Set-up alat sederhana dan pasif, menggunakan misalnya penyaring kopi, dapat memisahkan padatan dari minyak. Proses filtrasi dapat dibantu dengan mesin pompa vakum, yang dapat meningkatkan kecepatan filtrasi. Filtrasi adalah proses yang lambat, yang dapat memakan waktu selama 5 hingga 15 jam per kg minyak mentah BSF. Oleh karena itu, filtrasi hanya disarankan untuk batch kecil. Untuk batch yang lebih besar, minyak mungkin akan menjadi padat setelah beberapa saat, yang dapat menghentikan proses filtrasi.

#### Peralatan dan bahan yang dibutuhkan:



**Penyaring kopi**



**Corong plastik**



**Wadah penyimpanan minyak**  
Kedap cahaya



**Mesin pompa vakum**  
Cast DOA-P504-BN



**Kertas saring**  
Ukuran pori 120



**Erlenmeyer**



**Corong Buchner**

### Langkah kerja:

**Langkah 1:** Siapkan set-up filtrasi menggunakan mesin pompa vakum, dengan meletakkan corong ke atas erlenmeyer dan sambungkan dengan pipa ke pompa vakum. Letakkan kertas saring di atas corong dan nyalakan pompa vakum.



Set-up mesin pompa vakum. (Langkah 1)



Menuangkan minyak mentah BSF ke atas penyaring. (Langkah 2)

**Langkah 2:** Tuang minyak mentah BSF ke dalam corong dan biarkan minyak tersaring.

**Langkah 3:** Matikan mesin pompa vakum dan ambil minyak murni BSF. Ambil kertas saring beserta padatan residu. Timbang dan catat berat minyak murni di lembar pengumpulan data.

**Langkah 4:** Simpan minyak BSF di dalam wadah kedap cahaya dan beri label tanggal produksi.

Jika anda tidak memiliki mesin pompa vakum:

→ **Langkah penyesuaian 1:**

Gunakan penyaring kopi sebagai ganti kertas saring. Letakkan corong ke wadah (bisa menggunakan botol jenis apapun) dan biarkan minyak turun melalui penyaring kopi dengan gravitasi.

### B) Oil decanting

Jika anda memiliki minyak mentah BSF dalam jumlah besar, cara penyaringan yang dijelaskan di atas tidak dapat dilakukan. Jika anda tidak memiliki peralatan yang lebih canggih seperti decanter sentrifuge, anda dapat menggunakan metode decanting sederhana. Seiring waktu, padatan akan mengendap di dasar wadah minyak mentah. Minyak BSF kemudian dapat dipisahkan dari padatannya dengan cara decanting. Minyak dikumpulkan dengan memasukkan tabung ke dalam fraksi minyak yang terkumpul di bagian atas wadah. Setelah penyedotan pertama dengan bantuan spet plastik, minyak akan



**Langkah penyesuaian 1:** Set-up sederhana menggunakan penyaring kopi dan corong.

secara otomatis mengalir melalui tabung ke dalam wadah pengumpul kedua. Proses ini lebih cepat jika dibandingkan dengan penyaringan. Namun, padatan tersuspensi yang tidak mengendap di dasar, tidak dapat dipisahkan dengan metode ini, sehingga menghasilkan produk yang kurang murni.

## Peralatan dan bahan yang dibutuhkan:



Spet plastik



Selang plastik



Wadah  
penyimpanan minyak  
Kedap cahaya



Botol kaca

## Langkah kerja:

**Langkah 1:** Penyiapan minyak. Diamkan minyak mentah selama beberapa jam di dalam botol kaca. Jika minyak mulai mengeras, masukkan botol ke dalam air hangat. Padatan lebih berat daripada minyak, sehingga akan mengendap di bagian bawah botol dan anda dapat menyedot minyak di bagian atas. Pastikan agar padatan yang sudah mengendap tidak tercampur kembali dengan minyak.

**Langkah 2:** Persiapan set-up. Letakkan botol kaca berisi minyak mentah BSF di atas boks kosong, sehingga menjadi lebih tinggi dibandingkan wadah untuk menampung minyak hasil penyedotan. Pasang spet plastik ke satu ujung selang transparan. Masukkan ujung lainnya ke dalam minyak bagian atas di dalam botol kaca.



Menarik spet plastik untuk memulai proses decanting. (Langkah 3)

**Langkah 3:** Mulai proses penyedotan dengan menarik spet plastik, sehingga minyak mengalir melalui selang. Lepaskan spet plastik dari selang, sehingga minyak dapat mengalir wadah penyimpanan minyak. Pastikan selang tetap berada pada fraksi minyak bagian atas dan tidak menyedot padatan yang ada di bagian bawah.

**Langkah 4:** Hentikan proses segera ketika selang akan menyentuh fraksi padatan yang mengendap di bagian bawah botol kaca.



#### STANDAR PAKAIAN PELINDUNG PEKERJA:

- Gunakan sarung tangan, pelindung mata dan pelindung pakaian selama melakukan aktivitas pemurnian minyak.



#### POIN MONITORING DAN PENGUMPULAN DATA:

- Timbang berat minyak murni BSF yang terkumpul dan catat di lembar pengumpulan data.



**Modul pemurnian produk dari seri video kuliah online** tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



### 5.3 Monitoring, penyimpanan, dan pelabelan produk

#### Monitoring

Untuk dapat memonitor aktivitas pengolahan lanjut, kami sarankan untuk mengisi lembar pengumpulan data pada setiap hari produksi. Templat lembar pengumpulan data dapat ditemukan di Lampiran G. Data yang dicatat tersebut, memudahkan dalam pemeriksaan parameter pada tiap prosesnya. Keseimbangan massa merupakan parameter yang penting, karena memberikan indikasi jika proses telah selesai. Cara sederhana untuk memeriksa keseimbangan massa adalah menghitung hasil panen dengan membagi berat keluar dengan berat masuk:

$$\text{Hasil \%} = \frac{\text{Total berat keluar}}{\text{Total berat masuk}} \times 100$$

Dengan persentase ini, anda dapat mengontrol proses pengeringan atau fraksionasi, karena hasil tetap konstan dalam kisaran tertentu. Namun, jenis sampah dan waktu panen akan berpengaruh pada hasil, karena kadar air dan lemak yang bervariasi. Nilai rata-rata yang didapat dari fasilitas percontohan (pilot site) kami, tercatat dalam diagram aliran massa pada Gambar 5-3.

#### Penyimpanan

Pembusukan produk BSFL dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain suhu, kelembaban, aktivitas air, oksigen, dan paparan cahaya. Suhu dan kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan aktivitas air, sehingga menyebabkan pembusukan melalui aktivitas mikroorganisme. Namun, kontaminasi awal dengan mikroorganisme dalam produk BSFL, akan bergantung pada jenis sampah serta proses pembersihan dan pengeringan yang diterapkan pada BSFL. Paparan cahaya dan oksigen dapat meningkatkan oksidasi lipid, yang menghasilkan perubahan rasa, warna, dan bentuk.

Memilih wadah penyimpanan dan kemasan yang tepat membantu menghindari pembusukan produk BSFL dengan cepat. Wadah penyimpanan harus kedap udara, ringan, dan kedap air. Demikian pula, bahan kemasan harus tahan air dan untuk produk berlemak tinggi seperti minyak BSF atau BSFL kering, bahan tersebut juga harus kedap cahaya. Menambahkan kemasan pengering, ke produk yang dikemas akan mempertahankan tingkat kelembapan yang rendah di dalam kemasan, sehingga menjaga aktivitas air tetap rendah. Semua produk harus disegel sebelum dijual sebagai jaminan bagi pembeli bahwa produk tersebut belum dibuka sebelumnya. Semua produk juga harus disimpan di tempat yang terlindung dari suhu tinggi, cuaca dan sinar matahari langsung.

### Pelabelan

Produk BSF yang sudah dikemas membutuhkan label, yang mencantumkan informasi produk yang relevan, memudahkan penelusuran, dan menarik calon pembeli untuk membeli produk anda. Gambar 54 menunjukkan contoh label produk yang dirancang untuk BSFL yang dikeringkan dengan microwave, yang disebut pop-larva.



Gambar 5-4: Contoh label untuk BSFL kering hasil microwave, yang disebut pop-larva

Detail informasi yang ditunjukkan pada contoh label di atas dijelaskan pada Tabel 5-3.

Tabel 5-3: Info yang perlu ditambahkan ke label produk

#	Info pelabelan	Deskripsi
1	Kandungan nutrisi	Menampilkan setidaknya protein, lemak dan kandungan air.
2	Tanggal produksi	Penting untuk penelusuran produk
3	Tanggal kadaluarsa	Informasi penting untuk penggunaan dan membantu mencegah jika terjadi keluhan.
4	Deskripsi produk	contoh larva kering BSF atau tepung BSF, nama merk (pop-larva) mungkin tidak terlalu jelas
5	Berat bersih	Jumlah produk per kemasan
6	Gambar target hewan	Untuk memberikan gambaran visual yang mengindikasikan tujuan penggunaan produk
7	Informasi umum/manfaat	Untuk dapat membantu menarik minat pembeli
8	Cara penggunaan	Menunjukkan cara pemberian pakan pada hewan dengan produk tersebut
9	Cara penyimpanan	Menyebutkan di mana dan bagaimana cara menyimpan produk.
10	Nama dan alamat perusahaan/merk	Informasi di mana pembeli dapat menemukan anda. Dapat berupa situs web, media sosial, atau lokasi perusahaan.



**PUSAT PENGOLAHAN MATERIAL ORGANIK  
DAN BUDIDAYA BLACK SOLDIER FLY**

**INTEGRATED  
TECHNOLOGY**

**KAWASAN  
PENELITIAN**

TAMU WAJIB LAPOR  
KE KANTOR

VISITORS MUST REPORT  
AT OFFICE

## Bab 6:

# Pengembangan Bisnis

Model bisnis untuk fasilitas BSF anda harus tersedia, sebelum usaha dimulai terutama jika tujuannya adalah untuk menjalankan bisnis. Bab ini memberikan beberapa alat untuk mendukung model bisnis anda dengan angka dan untuk membantu mengidentifikasi prasyarat apa yang harus dipenuhi sebelum membangun fasilitas BSF.

### 6.1 Analisis biaya pendapatan dan kelayakan finansial

Memahami dan menghitung biaya pengolahan sampah dengan BSF, merupakan aspek penting sebelum memulai atau saat mengoperasikan fasilitas BSF. Tidak hanya memperkirakan biaya modal yang diperlukan untuk konstruksi, tetapi juga menilai biaya operasional yang diharapkan, untuk konteks lokal yang spesifik dan memantau biaya unit selama beroperasi. Di sini kami menyajikan dua alat untuk membantu menganalisis biaya pendapatan dan memungkinkan penilaian atas kelayakan finansial fasilitas pengolahan sampah organik dengan BSF.

"Alat model bisnis berbasis skenario" adalah untuk mereka yang ingin melihat fasilitas BSF secara rinci. Alat ini membedah setiap unit pengolahan satu persatu, dalam hal modal dan biaya operasional, juga memberikan daftar peralatan dan bahan yang diperlukan dan juga memungkinkan penyesuaian individu jika pengguna memiliki pengalaman dan familiar dengan kondisi lokal tertentu di lokasi yang diminati. Analisis setiap unit pemrosesan secara terpisah memungkinkan untuk menilai model bisnis yang berbeda, misalnya tingkat desentralisasi dan manajemen rantai pasokan yang berbeda. Setelah memilih skenario yang diinginkan, dan memasukkan variabel input lainnya, alat tersebut kemudian dapat menghitung parameter utama keuangan seperti Net Present Value (NPV), untuk menentukan nilai proyek investasi yang potensial.

Alat lain yang tersedia adalah "model biaya berbasis web", yang memberikan gambaran yang jauh lebih sederhana tentang biaya yang terlibat dalam mengembangkan fasilitas BSF, berdasarkan jumlah dan jenis sampah yang tersedia. Alat tersebut memanfaatkan data dari fasilitas dan desain yang ada di Indonesia, dan memberikan nilai konversi pemrosesan default, untuk menghitung biaya modal dan biaya produksi per unit. Pengguna kemudian dapat mempelajari pasar lokal dan potensi harga penjualan produk BSF untuk menilai kemungkinan tercapainya keuntungan margin.

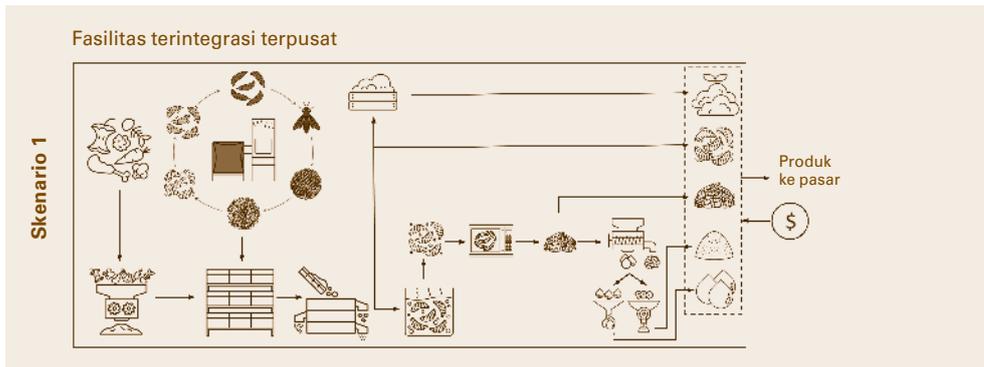
Untuk menilai potensi aliran pendapatan yang berasal dari pengolahan sampah dengan BSF dan membandingkannya dengan biaya item di fasilitas BSF, berdasarkan pada skala operasi, memberikan indikasi yang baik apakah kelayakan finansial dapat dicapai. Meskipun pengalaman dan data dari fasilitas yang ada dapat memberikan indikasi yang baik tentang kebutuhan ruang, peralatan dan tenaga kerja, namun terdapat beberapa variabel yang akan mempengaruhi data ini yang sangat bergantung pada konteks dan kondisi spesifik lokal:

- CAPEX atau biaya modal fasilitas (misalnya, biaya lokal untuk membuat peralatan custom-made, ketersediaan peralatan di tempat, dll.)
- OPEX atau biaya operasional fasilitas (misalnya biaya lokal penggunaan, upah lokal tenaga kerja, dll.)
- Iklim dan dampak lingkungan lainnya (misalnya suhu, kelembaban, pencegahan bau, pengelolaan limbah cair, dll.)
- Potensi pendapatan dari pengolahan sampah (gate fee)
- Potensi pendapatan dari penjualan produk turunan larva (misalnya larva utuh, tepung protein, minyak larva, dll.)
- Pendapatan dari penjualan produk pembiakan BSF seperti 5-DOL yang terjual untuk digunakan dalam mengonversi sampah di lokasi lain
- Penjualan residu sampah sebagai bahan pembenah tanah atau penjualan produk terkait seperti biogas dari pengolahan residu.

## 6.2 Model bisnis berbasis skenario

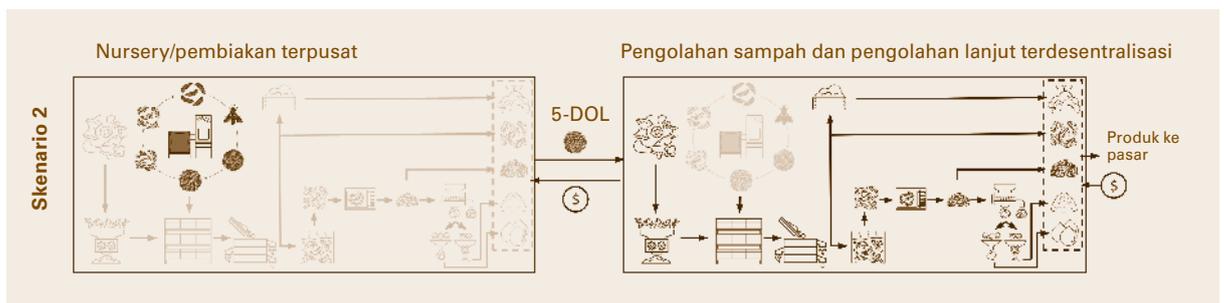
Alat model bisnis berbasis skenario dikembangkan untuk membedakan setiap unit pemrosesan di fasilitas berdasarkan "Biaya Berbasis Aktivitas". Hal ini memungkinkan pengguna untuk membandingkan berbagai skenario model bisnis dan penerapannya. Tiga skenario berbeda tersedia di alat ini yang dijelaskan oleh gambar berikut:

- **Skenario 1:** Skenario ini mengasumsikan satu fasilitas BSF kapasitas penuh dan terpusat yang mencakup semua unit pemrosesan di satu lokasi. Fasilitas BSF terpusat ini, menerima sampah organik, mengolah sampah dengan BSF untuk menghasilkan larva panen, dan mengonversi larva tersebut (pengolahan lanjut) menjadi produk BSFL seperti larva segar, larva kering dan/atau tepung dan minyak larva. Fasilitas yang sama ini juga menjalankan unit pembiakan yang mencakup seluruh fase dalam siklus hidup BSF, untuk terus menghasilkan pupa, lalat dan telur serta secara terus menerus menyediakan 5-DOL untuk unit pengolahan (Gambar 6-1).



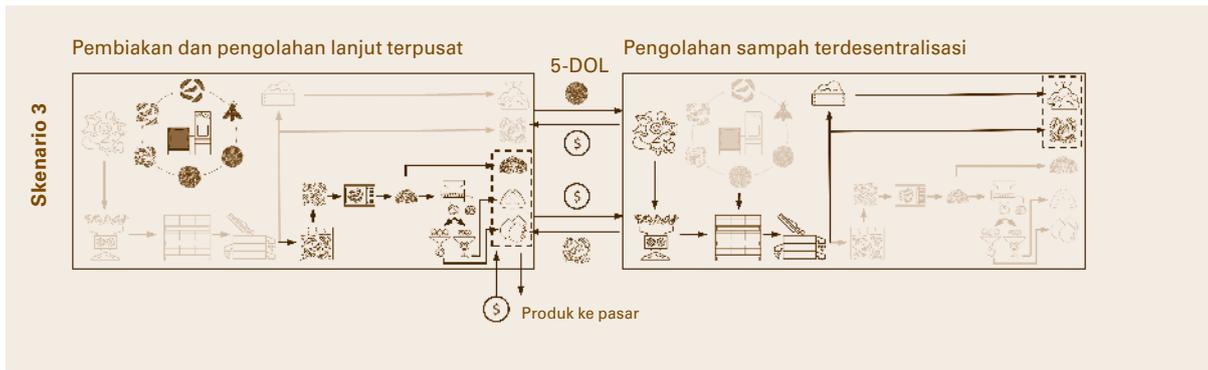
Gambar 6-1: Skenario 1: Fasilitas terintegrasi terpusat

- **Skenario 2:** Skenario ini terdiri dari dua unit bisnis terpisah yang tidak berlokasi di tempat yang sama. Pertama, fasilitas pembiakan terpusat yang berfokus secara khusus pada siklus hidup agar terus memproduksi 5-DOL untuk dapat digunakan di fasilitas pengolahan lain. Fasilitas pengolahan ini terletak di lokasi berbeda dalam satu kota, yang idealnya dekat dengan sumber sampah. Fasilitas pengolahan terdesentralisasi ini, memproses sampah organik dengan menggunakan 5-DOL dari fasilitas pembiakan untuk menghasilkan larva panen dan mengonversi larva ini menjadi produk BSFL seperti larva segar, larva kering dan/atau tepung dan minyak larva (Gambar 6-2).



Gambar 6-2: Skenario 2: Fasilitas pembiakan terpusat, fasilitas pengolahan sampah dan pengolahan lanjut

- **Skenario 3:** Skenario ini mirip dengan skenario 2, dengan fasilitas pengolahan yang terdesentralisasi. Namun, dalam skenario ini fasilitas pengolahan mendapatkan 5-DOL untuk pengolahan sampah, tapi tidak mengolah larva panen untuk menjadi produk lanjutan melainkan menjual larva segar yang sudah diproduksi, kembali ke fasilitas pusat. Oleh karena itu, fasilitas pusat ini tidak hanya menghasilkan 5-DOL untuk fasilitas pengolahan, tetapi juga menerima larva panen dari mereka untuk mengolah larva ini menjadi produk BSFL, seperti larva segar, larva kering dan/atau tepung dan minyak larva (Gambar 6-3).



Gambar 6-3: Skenario 3: Fasilitas pembiakan dan pengolahan lanjut terpusat, fasilitas pengolahan sampah

Seperti yang dijelaskan dalam skenario 2 dan 3, model ini memerlukan rantai pasokan dan pertukaran produk yang penting antara fasilitas terpusat dan terdesentralisasi. Untuk skenario 2 dan 3, pasokan rutin 5-DOL sangat penting. Ini merupakan sumber pendapatan bagi fasilitas pembiakan dan sumber bahan baku fasilitas pengolahan, selain sampah yang mereka terima. Untuk skenario 3, pertukaran produk berjalan dua arah. 5-DOL dipindahkan dari fasilitas pembiakan/pengolahan lanjut ke fasilitas pengolahan, kemudian larva panen dipindahkan kembali dari fasilitas pengolahan ke fasilitas pembiakan/pengolahan lanjut. Dalam pertukaran ini, penting untuk menemukan skema penetapan harga untuk produk-produk tersebut yang menguntungkan semua pihak. Jika fasilitas pembiakan menetapkan harga yang terlalu tinggi untuk 5-DOL, maka fasilitas pengolahan yang terdesentralisasi dapat mengalami kerugian dan gulung tikar. Demikian pula, jika fasilitas pengolahan terdesentralisasi menetapkan harga yang terlalu tinggi untuk larva hasil panen, maka fasilitas pembiakan/pengolahan lanjut akan mengalami kerugian dan gulung tikar.

Alat model bisnis berbasis skenario membantu mengidentifikasi skema harga untuk pertukaran produk seperti yang sudah dijelaskan, serta mempertimbangkan skala operasional tiap fasilitas yang akan memberikan pengaruh skala ekonomi.

Selain itu, alat ini memberikan gambaran struktur biaya setiap unit pemrosesan dan memberikan indikator performa keuangan serta indikator penganggaran modal utama seperti Net Present Value (NPV), periode pengembalian modal (PB, payback period) dan tingkat pengembalian internal (IRR, internal rate of return) berdasarkan jangka waktu 5 tahun dengan tingkat diskonto (discount



Alat model bisnis berbasis skenario adalah alat berupa file excel. Tiap skenario memiliki file excelnya masing-masing dimana pengguna dapat mengisi data yang dibutuhkan. Semua model excel serta manual dapat diunduh secara gratis melalui tautan ini.



### 6.3 Model biaya berbasis web

Model biaya berbasis web adalah versi yang lebih sederhana dari "alat model bisnis berbasis skenario". Model ini mengasumsikan fasilitas pusat dengan semua unit terintegrasi di satu tempat. Alat ini memberikan estimasi kepada pengguna mengenai berapa biaya operasional dan biaya produksi per unit produk BSF (misalnya biaya yang dikeluarkan dari pembuatan suatu produk BSF), yang kemudian dapat dibandingkan dengan harga jual produk pesaing serupa di pasar. Pengguna memilih skala operasi berdasarkan jumlah sampah yang harus diolah, produk BSF apa yang akan dijual, dan memasukkan beberapa biaya unit tambahan berdasarkan konteks lokal (biaya tenaga kerja, biaya utilitas, dll.). Nilai konversi default berdasarkan data fasilitas di Indonesia disediakan, yang juga dapat disesuaikan secara individual oleh pengguna jika informasi lain tersedia. Manfaat menggunakan alat model biaya berbasis web ini adalah anda tidak perlu menjadi ahli BSF. Cukup menjadi seorang peminat BSF yang ingin melakukan eksplorasi dalam pengoperasian fasilitas BSF, berapa banyak produk dan berapa biaya produksi yang mungkin anda harapkan. Selain biaya, media output juga akan ditampilkan berupa diagram alir termasuk aliran massa tiap unit pemrosesan yang berbeda.



**Model biaya berbasis web merupakan perangkat online** yang berfokus pada penghitungan biaya operasional per unit produk BSF yang dipilih.



**Modul perancangan biaya dari seri video kuliah online** tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



### 6.4 Menentukan lokasi fasilitas pengolahan sampah dengan BSF

Memahami siklus hidup adalah dasar dalam mendirikan fasilitas pengolahan sampah dengan BSF yang efektif dan efisien. Di fasilitas tersebut, dengan infrastruktur, peralatan, dan pekerja dengan keahliannya, operator yang mengendalikan siklus hidup alami BSF untuk selanjutnya dapat menciptakan dan mengoperasikan teknologi biosistem.

Lokasi fasilitas dengan komponen dan aktivitasnya dibuat sebaik mungkin meniru habitat alami yang dibutuhkan BSF, sekaligus juga meningkatkan efisiensi dan stabilitas sehingga pengolahan sampah yang berkelanjutan dapat dijalankan dengan baik. Aspek-aspek berikut harus dipertimbangkan saat memilih lokasi yang sesuai untuk fasilitas pengolahan dengan BSF:

- Sumber terdekat dari sampah organik berkualitas dengan jumlah yang stabil, teratur dan dapat diprediksi. Semakin dekat fasilitas tersebut dengan sampah, semakin rendah kebutuhan transportasi dan logistik dalam pengumpulan sampah.
- Pembeli terdekat untuk larva dan produk pengolahan lanjut. Semakin dekat jarak dengan pembeli, semakin mudah untuk mempertahankan koneksi pasar yang sesuai dan meningkatkan hubungan dengan pembeli sekaligus mengurangi biaya transportasi.

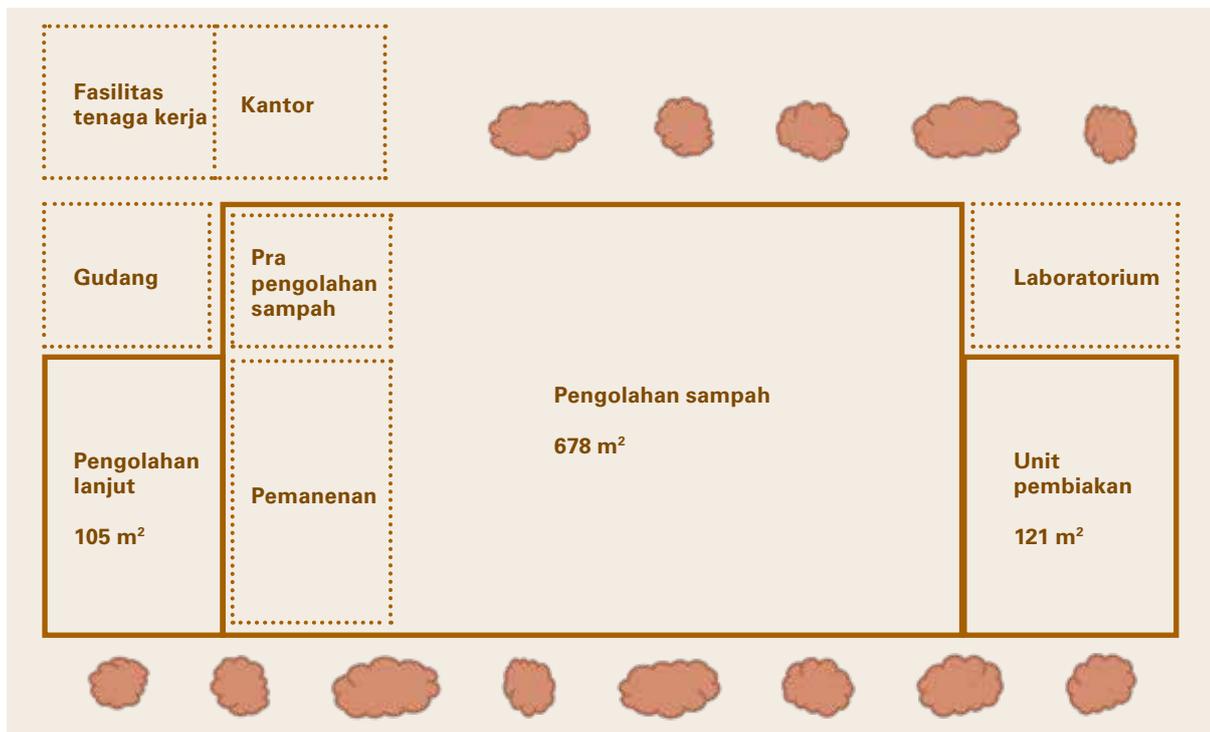
- Lokasi yang sesuai di kota atau lingkungan yang tidak menimbulkan konflik atau larangan oleh penduduk atau pengguna lahan yang berdekatan.
- Zona hijau yang memadai yang dapat melindungi fasilitas dari area sekitarnya (misalnya area terbuka, pepohonan, pagar, dll.)
- Ketersediaan air, sistem air sampah dan sambungan ke jaringan listrik
- Infrastruktur dan kualitas bangunan yang memadai. Area pengolahan harus memiliki atap dan alas beton untuk menyediakan tempat berteduh dan menyediakan ruang kerja yang bersih. Kantor, fasilitas toilet dan ruang lab juga harus tersedia.

Ketika lokasi telah dipilih dan rencana konstruksi sedang dikembangkan, aspek-aspek spesifik berikut juga perlu dipertimbangkan.

- Fasilitas harus dilindungi dari serangan hama dan kutu. Perangkap semut diperlukan di titik kontak antara peralatan dan lantai. Pastikan tidak ada kontak antara peralatan dan dinding. Pelindung kawat jala mungkin diperlukan untuk semua komponen penting dalam unit pembiakan untuk mencegah burung, tikus, dan kadal memakan larva.
- Unit pengolahan harus ditempatkan jauh dari sinar matahari langsung, dijaga pada suhu sekitar 25 derajat dan tidak terkena hujan, serta idealnya disimpan pada kelembaban rendah.
- Fase pembiakan telur, prapupa dan pupa membutuhkan kelembaban tinggi dan suhu sekitar 28 derajat dengan naungan penuh dari sinar matahari.
- Fase pembiakan larva perlu dijaga pada kelembaban rendah, suhu sekitar 25 derajat dan dengan naungan penuh dari sinar matahari.
- Fase pembiakan lalat dan proses kawin lalat membutuhkan kelembaban tinggi dengan suhu sekitar 28 derajat dan sinar matahari tidak langsung yang berlimpah.
- Unit pengolahan lanjut harus memiliki ventilasi yang memadai, suhu yang nyaman untuk pekerjaan yang dilakukan manual, dan tingkat kelembapan yang sangat rendah.

### 6.5 Pembuatan denah dan perencanaan lokasi untuk fasilitas BSF

Salah satu hasil dari kedua alat model biaya yang telah dijelaskan di atas, adalah kebutuhan ruang untuk ketiga unit (pembenihan, konversi/pengolahan dan pengolahan lanjut) di fasilitas BSF tergantung dari skala sampah masuk. Gambar 6-4 menunjukkan contoh denah lantai untuk fasilitas dengan kapasitas 5 ton sampah organik yang masuk per hari.



Gambar 6-4: Denah lantai untuk fasilitas pengolahan sampah dengan BSF dengan kapasitas 5 ton sampah organik masuk per hari

Tabel 6-1: Gambaran skala fasilitas dan pengaruhnya terhadap ukuran unit operasional yang berbeda

Jumlah sampah yang diproses per hari	Area Pemiakan	Area Konversi/ pengolahan	Area Pengolahan lanjut	Total Area
5 ton/hari	121 m <sup>2</sup>	678 m <sup>2</sup>	105 m <sup>2</sup>	±900 m <sup>2</sup>
2 ton/hari	71 m <sup>2</sup>	286 m <sup>2</sup>	47 m <sup>2</sup>	±400 m <sup>2</sup>
1 ton/hari	47 m <sup>2</sup>	160 m <sup>2</sup>	44 m <sup>2</sup>	±250 m <sup>2</sup>

Ketika membandingkan skala yang berbeda (lihat Tabel 6-1) dan kebutuhan ruang pada skala masing-masing, menjadi jelas bahwa hal ini tidak bertambah atau berkurang secara linier dengan bertambah atau berkurangnya sampah masuk. Khususnya unit pemiakan menunjukkan hubungan ketergantungan paling rendah di antara skala dan kebutuhan ruang. Di sini peralatan, misalnya rak, dibuat dengan skala desain yang tetap. Sehingga di skala yang lebih kecil tidak akan merubah kebutuhan ruang tetapi menunjukkan bahwa peralatan tidak digunakan dengan kapasitas penuh. Sebaliknya, unit pengolahan sampah menunjukkan ketergantungan yang kuat antara skala dan ruang. Ini adalah hasil dari ukuran unit peralatan yang kecil. Untuk setiap perubahan skala kecil, jumlah peralatan kecil ini akan meningkat sehingga membutuhkan lebih banyak ruang untuk menampung. Terakhir, unit pengolahan lanjut, menunjukkan pola yang sama dengan unit pemiakan. Kapasitas sebagian besar peralatan yang dipasang seringkali bukan menjadi faktor pembatas, oleh karena itu penurunan atau bahkan peningkatan skala dapat diakomodasi dengan peralatan yang sama. Hal ini ditunjukkan pada Tabel 6-1 dengan membandingkan skala 1 ton dan 2 ton sampah yang diolah per hari. Meskipun skalanya menjadi dua kali lipat, hampir tidak ada efek pada ruang lantai yang dibutuhkan



**Modul desain site dari seri video kuliah online**  
tentang pengolahan sampah organik dengan BSF, tersedia pada tautan ini.



## 6.6 Skenario operasional dan penjadwalan kerja

Pedoman operasional yang diberikan dalam buku ini didasarkan pada fasilitas pengolahan BSF yang memiliki kapasitas produksi 5-DOL yang cukup untuk mengolah sekitar 35 ton sampah organik per minggu. Ini membutuhkan kehadiran setiap hari dengan jadwal kerja tujuh hari seminggu.

Tergantung pada sampah, ruang dan ketersediaan tenaga kerja, pengguna dapat memilih mengurangi jadwal kerja yang dapat diatur dengan sistem kerja setengah hari dalam seminggu atau kurang, dengan jadwal kerja alternatif Senin-Rabu-Jumat (lihat Tabel 6-2).

Tabel 6-2: Kapasitas fasilitas BSF berdasarkan jadwal kerja

Jadwal kerja	Kapasitas sampah	5-DOL yang dihasilkan	Tenaga kerja yang dibutuhkan	Area	Fluktuasi 5-DOL yang dihasilkan harian
1 Setiap hari	35 ton/minggu	±50 jt/minggu	23	900 m <sup>2</sup>	Stabil
2 2 hari sekali	14 ton/minggu	±20 jt/minggu	12	400 m <sup>2</sup>	Fluktuasi rendah
3 Senin-Rabu-Jumat	7 ton/minggu	±8 jt/minggu	9	250 m <sup>2</sup>	Fluktuasi tinggi

Jadwal kerja dan lembar pengumpulan data yang disajikan dalam lampiran dibuat untuk jadwal kerja setiap hari. Set-up ini terbukti paling stabil dalam produksi 5-DOL dan paling baik dalam mengolah sampah organik yang masuk ke fasilitas setiap harinya. Untuk ketiga jenis jadwal kerja, daftar tugas dan jadwal pemberian makan yang berbeda telah dirancang dan tersedia untuk diunduh.

Jadwal kerja hanya tersedia untuk unit pembiakan (Lampiran A) dan konversi (Lampiran C), karena unit pengolahan lanjut menggunakan file "Prosedur Operasional Standar" (SOP) terkait dengan langkah-langkah operasional di setiap unit operasional. Dalam jadwal kerja, penjelasan singkat



Selain jadwal kerja "setiap hari" sebagaimana disediakan dalam Lampiran, tautan ini menyediakan akses ke tiga skenario operasional yang berbeda dengan jadwal kerja masing-masing. Di dalam manual ini di jelaskan dampak dari skenario kerja yang berbeda dan bagaimana cara mempersiapkan jadwal tersebut.



Jadwal kerja menggunakan format kode tanggal: XX.Y. Ini memudahkan perhitungan tanggal dan pelabelan pada boks dan kandang. Nilai XX menunjukkan minggu kalender dalam setahun (minggu 01-52/53). Nilai Y menunjukkan hari dalam seminggu (Senin-Minggu = 1-7).

Date:

Selasa, 21 Februari

Code:

8.2

Minggu ke-8 dalam satu tahun  
Hari ke-2 dalam satu minggu

Jadwal kerja dan lembar pengumpulan data yang disajikan dalam lampiran dibuat untuk jadwal kerja setiap hari. Set-up ini terbukti paling stabil dalam produksi 5-DOL dan paling baik dalam mengolah sampah organik yang masuk ke fasilitas setiap harinya. Untuk ketiga jenis jadwal kerja, daftar tugas dan jadwal pemberian makan yang berbeda telah dirancang dan tersedia untuk diunduh.

Jadwal kerja hanya tersedia untuk unit pembiakan (Lampiran A) dan konversi (Lampiran C), karena unit pengolahan lanjut menggunakan file "Prosedur Operasional Standar" (SOP) terkait dengan langkah-langkah operasional di setiap unit operasional. Dalam jadwal kerja, penjelasan singkat diberikan untuk setiap tugas dan kolom di sebelah kanan dibiarkan putih jika tugas harus dilakukan pada hari itu atau diarsir hitam jika tugas ini tidak perlu dilakukan. Jadwal kerja harus ditempatkan di lokasi yang mudah terlihat dan dapat diakses, dekat dengan tempat staf bekerja, sehingga tiap staf yang bekerja dapat mengikuti jadwal tersebut dan memberi tanda centang pada tiap tugas yang telah selesai. Setiap jadwal kerja mencakup periode empat minggu yang kemudian diganti dengan jadwal baru oleh manajer operasional untuk periode berikutnya.

Unit pembiakan membutuhkan satu jadwal tambahan untuk pemberian pakan di nursery larvero (Lampiran B). Di nursery larvero, 5-DOL diberi pakan sekitar 2-3 minggu sampai berubah menjadi prapupa. Prapupa tersebut kemudian dimasukkan ke dalam boks pupasi hingga akhirnya menjadi lalat. Nursery larvero diberi pakan kaya nutrisi. Pemanenan prapupa akan bergantung pada prapupa yang merayap keluar dari boks (self-harvesting). Menjelang akhir fase pemberian pakan, kadar air pakan ditingkatkan, yang memudahkan prapupa merayap keluar dari boks nursery larvero. Jadwal pemberian pakan untuk boks nursery larvero memperlihatkan kepada operator, campuran pakan mana yang harus diberikan ke tiap boks.

Date	Set-up	1 KG	2 KG	1 KG	1 KG	Dism.					
8.1	8.1	7.6	7.5	7.3	7.2	6.7	6.6	6.5	6.3	6.1	5.5
8.2	8.2	7.7	7.6	7.4	7.3	7.1	6.7	6.6	6.4	6.2	5.6
8.3	8.3	8.1	7.7	7.5	7.4	7.2	7.1	6.7	6.5	6.3	5.7

Tanggal hari ini

Indikasi ID nursery larvero yang diberi pakan hari ini

Angka dan warna menunjukkan jumlah dan tipe pakan

ID nursery larvero yang dibuang hari ini

Kolom putih kiri menunjukkan tanggal hari ini. Kolom kedua menunjukkan kode tanggal untuk nursery larvero yang akan diset-up pada hari itu. Sel lain di sepanjang baris menunjukkan ID (kode tanggal) nursery larvero yang akan diberi pakan pada tanggal seperti yang ditunjukkan pada kolom 1. Warna menunjukkan jumlah dan jenis pakan yang diberikan. Pakan yang diberikan berbeda dalam hal jumlah air yang ditambahkan ke pakan ayam (CF) dan berkisar antara 70-100% air.

1kg / 30% CF / 70% H <sub>2</sub> O	2kg / 30% CF / 70% H <sub>2</sub> O	2kg / 15% CF / 85% H <sub>2</sub> O	1kg / 100% H <sub>2</sub> O
-------------------------------------	-------------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------

Tabel yang disajikan dalam Lampiran digunakan sebagai templat di lembar excel; operator dapat dengan mudah memperbarui jadwal di excel dengan rumus yang tersedia.

**Lampiran D, E, F, dan G** menyajikan lembar pengumpulan data terkait, yang disiapkan sebagai templat untuk mencatat dan mengumpulkan semua data setiap harinya. Semua data monitoring untuk menganalisis produktivitas unit dapat dicatat pada lembar ini.





## Bab 7 :

# Lampiran

Tabel 7-1: Gambaran umum dari templat lembar pengumpulan data dan penggunaannya

	<b>Lampiran A</b>	<b>Jadwal kerja di unit pembiakan</b> pada skenario kapasitas penuh-setiap hari	
	<b>Lampiran B</b>	<b>Jadwal pemberian pakan di nursery larvero</b> pada skenario kapasitas penuh-setiap hari	
	<b>Lampiran C</b>	<b>Jadwal kerja di unit konversi</b> pada skenario kapasitas penuh-setiap hari	
	<b>Lampiran D</b>	<b>Lembar pengumpulan data</b> untuk pengisian data harian parameter produktivitas di <b>unit pembiakan BSF</b>	
	<b>Lampiran E</b>	<b>Lembar pengumpulan data</b> untuk pengisian data harian parameter produktivitas pada tahap pengolahan di <b>unit konversi BSFL</b>	
	<b>Lampiran F</b>	<b>Lembar pengumpulan data</b> untuk pengisian data harian parameter produktivitas pada tahap pra-pengolahan dan pemanenan di <b>unit konversi BSFL</b>	
	<b>Lampiran G</b>	<b>Lembar pengumpulan data</b> untuk pengisian data harian parameter produktivitas di <b>unit pengolahan lanjut BSFL</b>	
	<b>Lampiran H</b>	<b>Lembar pengumpulan data</b> untuk pengisian data harian parameter produktivitas di <b>unit pengolahan lanjut BSFL</b>	
	<b>Lampiran I</b>	<b>Jadwal kerja untuk skenario kapasitas lainnya</b> ("setiap dua hari sekali" dan "Senin-Rabu-Jumat")	

- 7.1 Lampiran A:** Jadwal kerja di unit pembiakan BSF (nursery)
- 7.2 Lampiran B:** Jadwal pemberian pakan di nursery larvero
- 7.3 Lampiran C:** Jadwal kerja di unit pengolahan sampah
- 7.4 Lampiran D:** Lembar pengumpulan data untuk mengisi data harian parameter produktivitas di unit pembiakan BSF (nursery)
- 7.5 Lampiran E:** Lembar pengumpulan data untuk mengisi data harian parameter produktivitas pada tahap pengolahan di unit konversi BSFL
- 7.6 Lampiran F:** Lembar pengumpulan data untuk mengisi data harian parameter produktivitas pada tahap pra-pengolahan dan pemanenan di unit konversi BSFL
- 7.7 Lampiran G:** Lembar pengumpulan data untuk mengisi data harian parameter produktivitas di unit pengolahan lanjut BSFL
- 7.8 Lampiran H:** Gambar teknis peralatan yang dibuat secara khusus (custom-made) dan digunakan di fasilitas pengolahan sampah organik dengan BSF
- 7.9 Lampiran I:** Daftar peralatan yang dibutuhkan untuk tiga skenario di fasilitas pengolahan sampah organik dengan BSF



Minggu		xx							xx							xx							xx							Waktu
#	Hari	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	Menit
<b>Kegiatan di unit nursery</b>																														
8	<b>Menyiapkan boks penetasan baru (3 boks/hari)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Tuang 3kg pakan/boks dan tabur cocopeat diatasnya secara merata</li> <li>· Letakkan di bawah tempat penyimpanan telur di kerangka hatchling shower</li> </ul>																												10	
9	<b>Menyiapkan boks nursery larvero (2 boks/hari)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Tuang 2 kg pakan/boks</li> <li>· Tabur cocopeat di atasnya secara merata</li> <li>· Tambahkan 10.000 5-DOL/boks</li> <li>· Letakkan di tengah boks transfer</li> <li>· Tambahkan cocopeat di tepi dalam boks transfer</li> </ul>																												10	
10	<b>Membongkar love cage berumur 4 hari (2 LC/hari) (M3)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Ambil semua eggies dari LC</li> <li>· Kumpulkan lalat mati untuk campuran atraktan</li> <li>· Cuci boks-boks di dalam LC yang dibongkar</li> <li>· Cuci LC dengan mesin cuci pada program Cotton quick</li> </ul>																												60	
11	<b>Memasang love cage baru (2 LC/hari) (M4)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Timbang LC yang telah penuh dengan lalat</li> <li>· Pindah LC ke meja LC</li> <li>· Masukkan atraktan eggies, shade basket &amp; wadah air</li> <li>· Ambil sampel 20 lalat (1x)</li> </ul>																												40	
12	<b>Membongkar dark cage lama (3 minggu)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Keluarkan (16) boks pupasi dari dalam DC</li> <li>· Buang isinya ke tempat sampah dan cuci boks</li> <li>· Cuci DC dengan mesin cuci pada program Cotton quick</li> </ul>		■							■							■								■				10	
13	<b>Memasang dark cage baru</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Masukkan 16 boks pupasi/DC</li> <li>· Beri label dengan kode tanggal pemasangan DC dan ikat corong DC</li> </ul>	■		■					■		■					■		■						■		■			10	





Jadwal pemberian pakan di nursery larvero pada skenario kapasitas penuh-setiap hari. "xx" menandakan minggu pada kalender. "+1" adalah minggu berikutnya, "-1" adalah minggu sebelumnya dan "-2" adalah dua minggu sebelumnya, dst. Perbedaan warna menunjukkan perbedaan jumlah pemberian makan dengan komposisi tertentu untuk pakan ayam (CF, chicken feed) dan air

Tanggal	Set-up	2 KG	1 KG	1 KG	Dism.					
xx.1	xx.1	xx-1.5	xx-1.3	xx-1.2	xx-2.7	xx-2.6	xx-2.5	xx-2.3	xx-2.1	xx-3.5
xx.2	xx.2	xx-1.6	xx-1.4	xx-1.3	xx-1.1	xx-2.7	xx-2.6	xx-2.4	xx-2.2	xx-3.6
xx.3	xx.3	xx-1.7	xx-1.5	xx-1.4	xx-1.2	xx-1.1	xx-2.7	xx-2.5	xx-2.3	xx-3.7
xx.4	xx.4	xx.1	xx-1.6	xx-1.5	xx-1.3	xx-1.2	xx-1.1	xx-2.6	xx-2.4	xx-2.1
xx.5	xx.5	xx-1.5	xx-1.3	xx-1.2	xx-2.7	xx-2.6	xx-2.5	xx-2.3	xx-2.1	xx-3.5
xx.6	xx.6	xx-1.6	xx-1.4	xx-1.3	xx-1.1	xx-2.7	xx-2.6	xx-2.4	xx-2.2	xx-3.6
xx.7	xx.7	xx-1.7	xx-1.5	xx-1.4	xx-1.2	xx-1.1	xx-2.7	xx-2.5	xx-2.3	xx-3.7
xx+1.1	xx+1.1	xx.1	xx-1.6	xx-1.5	xx-1.3	xx-1.2	xx-1.1	xx-2.6	xx-2.4	xx-2.1
xx+1.2	xx+1.2	xx-1.5	xx-1.3	xx-1.2	xx-2.7	xx-2.6	xx-2.5	xx-2.3	xx-2.1	xx-3.5
etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.
etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.	etc.

Baris ini menunjukkan bagaimana jadwal pemberian pakan dilakukan: Setiap hari, anda membuat nursery larvero baru dan memberi pakan ke nursery larvero lama dengan kode tanggal pada baris yang sama, dengan jumlah dan komposisi pakan yang sesuai dengan kode warna pada kolom

Tanggal	Set-up	2 KG	1 KG	1 KG	Dism.					
6.1	6.1	5.5	5.3	5.2	4.7	4.6	4.5	4.3	4.1	3.5
6.2	6.2	5.6	5.4	5.3	5.1	4.7	4.6	4.4	4.2	3.6
6.3	6.3	5.7	5.5	5.4	5.2	5.1	4.7	4.5	4.3	3.7
6.4	6.4	6.1	5.6	5.5	5.3	5.2	5.1	4.6	4.4	4.1
6.5	6.5	6.2	5.7	5.6	5.4	5.3	5.2	4.7	4.5	4.2
6.6	6.6	6.3	6.1	5.7	5.5	5.4	5.3	5.1	4.6	4.3
6.7	6.7	6.4	6.2	6.1	5.6	5.5	5.4	5.2	4.7	4.4
7.1	7.1	6.5	6.3	6.2	5.7	5.6	5.5	5.3	5.1	4.5
7.2	7.2	6.6	6.4	6.3	6.1	5.7	5.6	5.4	5.2	4.6
7.3	7.3	6.7	6.5	6.4	6.2	6.1	5.7	5.5	5.3	4.7
7.4	7.4	7.1	6.6	6.5	6.3	6.2	6.1	5.6	5.4	5.1
7.5	7.5	7.2	6.7	6.6	6.4	6.3	6.2	5.7	5.5	5.2
7.6	7.6	7.3	7.1	6.7	6.5	6.4	6.3	6.1	5.6	5.3
7.7	7.7	7.4	7.2	7.1	6.6	6.5	6.4	6.2	5.7	5.4
8.1	8.1	7.5	7.3	7.2	6.7	6.6	6.5	6.3	6.1	5.5
8.2	8.2	7.6	7.4	7.3	7.1	6.7	6.6	6.4	6.2	5.6
8.3	8.3	7.7	7.5	7.4	7.2	7.1	6.7	6.5	6.3	5.7
8.4	8.4	8.1	7.6	7.5	7.3	7.2	6.8	6.6	6.4	6.1
8.5	8.5	8.2	7.7	7.6	7.4	7.3	6.9	6.7	6.5	6.2
8.6	8.6	8.3	8.1	7.7	7.5	7.4	7.3	7.1	6.8	6.3
8.7	8.7	8.4	8.2	8.1	7.6	7.5	7.4	7.2	6.7	6.4
9.1	9.1	8.5	8.3	8.2	7.7	7.6	7.5	7.3	7.1	6.5
9.2	9.2	8.6	8.4	8.3	8.1	7.7	7.6	7.4	7.2	6.6
9.3	9.3	8.7	8.5	8.4	8.2	8.1	7.7	7.5	7.3	6.7
9.4	9.4	9.1	8.6	8.5	8.3	8.2	8.1	7.6	7.4	7.1
9.5	9.5	9.2	8.7	8.6	8.4	8.3	8.2	7.7	7.5	7.2
9.6	9.6	9.3	9.1	8.7	8.5	8.4	8.3	8.1	7.6	7.3
9.7	9.7	9.4	9.2	9.1	8.6	8.5	8.4	8.2	7.7	7.4

Lembar jadwal ini ditempelkan pada dinding ruang nursery. Contoh pada jadwal ini dimulai pada hari Senin minggu ke-6 (6.1)

	30% CF	30% CF				15% CF	0% CF		Bongkar
--	--------	--------	--	--	--	--------	-------	--	---------







Minggu	xx							xx							xx							xx							Waktu
# Hari	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	Menit
<b>Kegiatan pemeliharaan fasilitas dan peralatan</b>																													
<b>U4</b>	<b>Membersihkan area penyimpanan kompos</b> · Sapu seluruh lantai																											30	
<b>U5</b>	<b>Membersihkan gudang</b> · Sapu seluruh lantai dan bersihkan permukaan rak penyimpanan																											15	
<b>U6</b>	<b>Mencuci kain saringan tahu (pada suhu 60-90°C)</b>																											15	
<b>Kegiatan pengumpulan data</b>																													
<b>M1</b>	<b>Pemilahan sampah</b> · Timbang dan catat berat sampah yang diterima dari tiap sumber sampah yang ada																											10	
<b>M2</b>	<b>Permanenan palet</b> · Timbang dan catat berat tiap boks dari satu palet dengan menumpuk 3 boks di atas timbangan																											10	
<b>M3</b>	<b>Pemisahan residu secara manual</b> · Timbang dan catat berat larva panen setelah bersih dari residu																											10	
<b>M4</b>	<b>Pemrosesan residu</b> · Timbang dan catat berat residu halus setelah dikemas ke dalam kurung																											10	
<b>M5</b>	<b>Pencacahan sampah</b> · Timbang dan catat berat sampah setelah proses pencacahan																											10	
<b>M6</b>	<b>Pemeliharaan kompos</b> · Timbang dan catat berat material kompos dari berbagai sumber, sebelum dicampur ke dalam tumpukan kompos																											10	
<b>Total</b>																											<b>640</b>		

Lembar pengumpulan data untuk mengisi data harian parameter produktivitas di unit pembiakan BSF (nursery).

Nama		Kode tanggal	
------	--	--------------	--

Kode tanggal hari ini

**Data telur**

Tanggal love cage	Berat telur yang dipanen (g)	Keterangan
12.2	67.3	
11.7	73.5	
11.5	-	

Kode tanggal love cage dipasang

**Data 5-DOL**

Tanggal boks penetasan	#5 DOL dalam 2 gram	Rerata (#)	Berat 5 DOL (g)	# total 5 DOL

Total berat x rerata / 2

**Data prapupa**

Tanggal nursery larvero	Berat prapupa (g)	Tanggal nursery larvero	Berat prapupa (g)
10.6	113		
10.4	145		
10.2	67		
9.2	105		
Berat 200 PP (sampel dari semua PP) 2x		1: 26.3 g	2: 25.5 g
		Rerata: 25.9 g	

Untuk melacak jumlah prapupa yang terpanen dari suatu nursery larvero

Berat 200 PP yang diambil acak, dari PP yang dipanen dari seluruh nursery larvero pada hari ini

**Prapupa dalam boks pupasi**

Tanggal set-up dark cage	# boks pupasi	# PP ditambahkan per boks	# total PP per boks
12.4	16	500	1500

Kode tanggal ketika memasukkan boks pupasi ke dalam dark cage

Jumlah prapupa per boks. Lihat lembar data kemarin untuk angka sebelumnya

**Data love cage**

Setting	Kosong	DC ke-1	DC ke-2	DC ke-3	DC ke-4	DC ke-5	Berat 20 lalat
Tgl dark cage		9.3	10.3				1.68g
Berat love cage	914	9.2	1.144				

**Keterangan**

Kode tanggal dark cage yang disambungkan ke love cage

Berat love cage kosong (termasuk gantungan bambu)

Total berat love cage setelah disambungkan ke dark cage (termasuk gantungan bambu)

## Salinan templat lembar pengumpulan data di unit pembiakan BSF

<b>Nama</b>		<b>Kode tanggal</b>	
-------------	--	---------------------	--

### **Data telur**

Tanggal love cage	Berat telur yang dipanen (g)	Keterangan
	-	

### **Data 5-DOL**

Tanggal boks penetasan	#5 DOL dalam 2 gram	Rerata (#)	Berat 5 DOL (g)	# total 5 DOL

### **Data prapupa**

Tanggal nursery larvero	Berat prapupa (g)	Tanggal nursery larvero	Berat prapupa (g)
Berat 200 PP (sampel dari semua PP) 2x			Rerata:

### **Prapupa dalam boks pupasi**

Tanggal set-up dark cage	# boks pupasi	# PP ditambahkan per boks	# total PP per boks

### **Data love cage**

Setting	Kosong	DC ke-1	DC ke-2	DC ke-3	DC ke-4	DC ke-5	Berat 20 lalat
Tgl dark cage							
Berat love cage							

### **Keterangan**





Lembar pengumpulan data untuk mengisi data harian parameter produktivitas pada tahap pra-pengolahan dan pemanenan di unit konversi BSFL.

<b>Nama</b>		<b>Kode tanggal</b>	
-------------	--	---------------------	--

**Pemilahan sampah dan pra-pengolahan**

Sumber sampah	Sampah yang diterima (kg)	Jenis sampah	Sampah yang diolah (kg)
Asal dari berbagai jenis sampah organik yang tiba di fasilitas		Untuk BSF:	Jenis sampah yang masuk ke berbagai unit pengolahan. Sampah untuk BSF biasanya lebih dari satu jenis, maka tulis semua jenis dan beratnya sebelum dicampur.
		Untuk BSF:	
		Untuk BSF:	
		Untuk BSF:	
		Untuk kompos	
		Daur ulang anorganik	

**Pemanenan palet**

Kode palet:	Berat (kg)	Kode palet:	Berat (kg)	Kode palet:	Berat (kg)
Boks 1+2+3		Boks 1+2+3		Boks 1+2+3	
Boks 4+5+6		Boks 4+5+6		Boks 4+5+6	
Boks 7+8+9		Boks 7+8+9		Boks 7+8+9	
Boks 10+11+12		Boks 10+11+12		Boks 10+11+12	
Boks 13+14+15		Boks 13+14+15		Boks 13+14+15	
Boks 16+17+18		Boks 16+17+18		Boks 16+17+18	
Boks 19+20+21		Boks 19+20+21		Boks 19+20+21	
Boks 22+23+24		Boks 22+23+24		Boks 22+23+24	
Boks 25+26+27		Boks 25+26+27		Boks 25+26+27	
Boks 28+29+30		Boks 28+29+30		Boks 28+29+30	
Boks 31+32+33		Boks 31+32+33		Boks 31+32+33	
Boks 34+35+36		Boks 34+35+36		Boks 34+35+36	
Berat total (kg)		Berat total (kg)		Berat total (kg)	

**Pemisahan larva dan pemrosesan residu secara manual**

Kode palet	Berat larva (kg)	Berat residu (kg)

Setelah pemisahan mekanis, pemisahan manual mungkin perlu dilakukan. Isi tabel ini dengan hasil dari pemisahan manual

**Pengambilan sampel untuk sampah mas**

Isi dengan kode palet sesuai jadwal pada Lampiran E

Tipe	Tanggal + Kode palet:						Tanggal + Kode palet:		
	50g Sampah	50g Residu	20 BSFL	50g Sampah	50g Residu	20 BSFL	50g Sampah	50g Residu	20 BSFL
Cup 1									
Basah+C1									
Kering+C1									
Cup 2									
Basah+C2									
Kering+C2									
Cup 3									
Basah+C3									
Kering+C3									

Isi dengan berat cup kosong, lalu cup+bahan basah. Setelah dikeringan di oven, timbang kembali cup+ bahan kering

Isi dengan berat sampel berupa ±50g substrat, ±50g residu, dan 20 BSFL

**Salinan templat lembar pengumpulan data pada tahap  
pra-pengolahan dan pemanenan di unit konversi BSFL**

<b>Nama</b>		<b>Kode tanggal</b>	
-------------	--	---------------------	--

***Pemilahan sampah dan pra-pengolahan***

Sumber sampah	Sampah yang diterima (kg)	Jenis sampah	Sampah yang diolah (kg)
		Untuk BSF:	
		Untuk kompos	
		Daur ulang anorganik	

***Pemanenan palet***

Kode palet:	Berat (kg)	Kode palet:	Berat (kg)	Kode palet:	Berat (kg)
Boks 1+2+3		Boks 1+2+3		Boks 1+2+3	
Boks 4+5+6		Boks 4+5+6		Boks 4+5+6	
Boks 7+8+9		Boks 7+8+9		Boks 7+8+9	
Boks 10+11+12		Boks 10+11+12		Boks 10+11+12	
Boks 13+14+15		Boks 13+14+15		Boks 13+14+15	
Boks 16+17+18		Boks 16+17+18		Boks 16+17+18	
Boks 19+20+21		Boks 19+20+21		Boks 19+20+21	
Boks 22+23+24		Boks 22+23+24		Boks 22+23+24	
Boks 25+26+27		Boks 25+26+27		Boks 25+26+27	
Boks 28+29+30		Boks 28+29+30		Boks 28+29+30	
Boks 31+32+33		Boks 31+32+33		Boks 31+32+33	
Boks 34+35+36		Boks 34+35+36		Boks 34+35+36	
Berat total (kg)		Berat total (kg)		Berat total (kg)	

***Pemisahan larva dan pemrosesan residu secara manual***

Kode palet	Berat larva (kg)	Berat residu (kg)

***Pengambilan sampel untuk sampah masuk, residu dan larva***

Tipe	Tanggal + Kode palet:			Tanggal + Kode palet:			Tanggal + Kode palet:		
	50g Sampah	50g Residu	20 BSFL	50g Sampah	50g Residu	20 BSFL	50g Sampah	50g Residu	20 BSFL
Cup 1									
Basah+C1									
Kering+C1									
Cup 2									
Basah+C2									
Kering+C2									
Cup 3									
Basah+C3									
Kering+C3									

Lembar pengumpulan data untuk mengisi data harian parameter produktivitas di unit pengolahan lanjut BSFL

Nama		Kode tanggal	19.4
------	--	--------------	------

**Data larva untuk pengeringan**

Kode tanggal panen	Berat larva (mg)	Keterangan
19.3	150	

Kode tanggal larva yang dipanen

Berat larva

**Metode pengeringan**

Mesin pengeringan yang digunakan	Drum dryer (penyangraian dengan drum)
----------------------------------	---------------------------------------

**Data pengeringan**

Berat masuk (kg)	Berat keluar (kg)	Waktu pengeringan (menit)	Keterangan
5	1.5	35	
5	1.4	40	
5	1.3	45	
5	1.4	35	
<b>Total masuk (kg)</b>	<b>Total keluar (kg)</b>		
20	4.6		

Di akhir jam kerja, hitung berat total larva yang masuk

Di akhir jam kerja, hitung berat total larva yang keluar dari mesin

**Data larva untuk fraksionasi**

Kode tanggal produksi	Keterangan
19.2	Larva yang disangrai

Kode tanggal dibuatnya larva kering

Jenis larva kering

**Fraksionasi (fractioning)**

Larva kering masuk (kg)	Ampas keluar (kg)	Minyak mentah keluar (kg)	Keterangan
20	14	4	

Total berat larva kering yang masuk ke mesin screw press

Total berat ampas kering dan minyak mentah BSF yang diperoleh

**Penggilingan ampas (cake grinding)**

Ampas giling kering masuk (kg)	Tepung keluar (kg)	Keterangan
14	14	

Jumlah tepung yang diperoleh

**Pengilangan minyak (oil refining)**

Minyak mentah masuk (kg)	Minyak keluar (kg)	Keterangan
4	2.5	

Jumlah minyak yang diperoleh

**Salinan templat lembar pengumpulan data di unit pengolahan lanjut BSFL**

Nama		Kode tanggal	
------	--	--------------	--

**Data larva untuk pengeringan**

Kode tanggal panen	Berat larva (mg)	Keterangan

**Metode pengeringan**

<b>Mesin pengeringan yang digunakan</b>	Drum dryer (penyangraian dengan drum)
---	---------------------------------------

**Data pengeringan**

Berat masuk (kg)	Berat keluar (kg)	Waktu pengeringan (menit)	Keterangan
<b>Total masuk (kg)</b>	<b>Total keluar (kg)</b>		

**Data larva untuk fraksionasi**

Kode tanggal produksi	Keterangan

**Fraksionasi (fractioning)**

Larva kering masuk (kg)	Ampas keluar (kg)	Minyak mentah keluar (kg)	Keterangan

**Penggilingan ampas (cake grinding)**

Ampas giling kering masuk (kg)	Tepung keluar (kg)	Keterangan

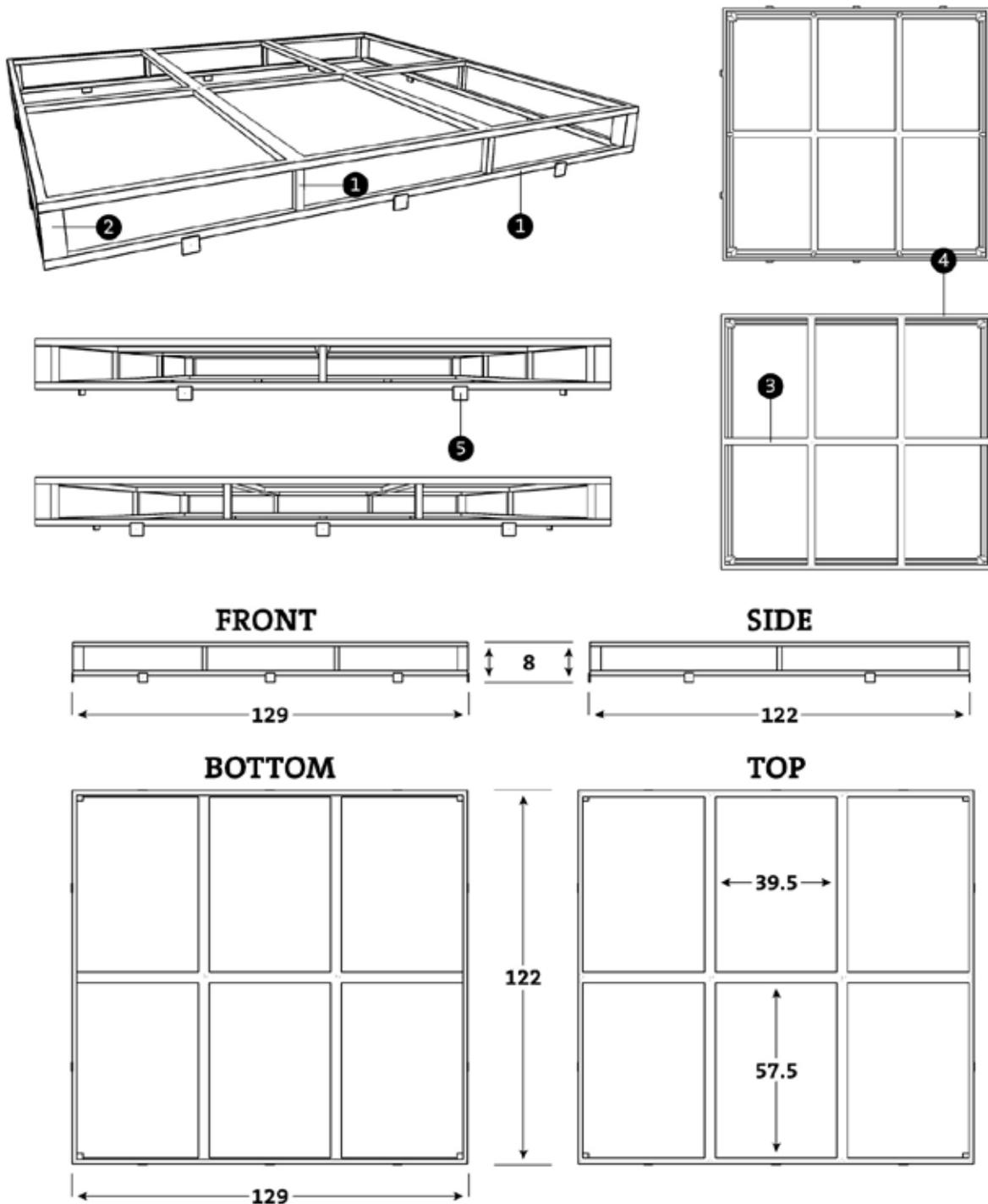
**Pengilangan minyak (oil refining)**

Minyak mentah masuk (kg)	Minyak keluar (kg)	Keterangan

## 7.8 Lampiran H

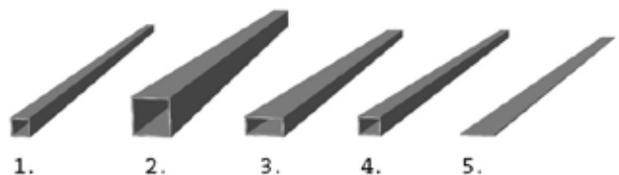
Gambar teknis peralatan yang dibuat secara khusus (custom-made) dan digunakan di fasilitas pengolahan sampah organik dengan BSF.

### Kerangka ventilasi untuk menumpuk boks larvero

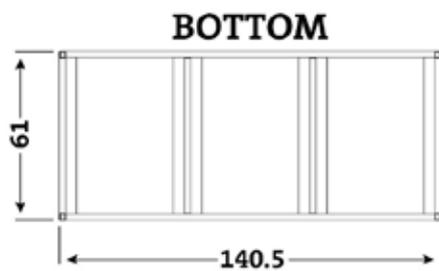
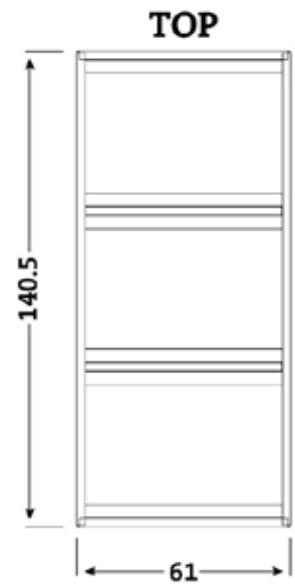
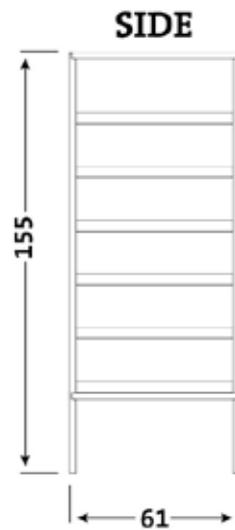
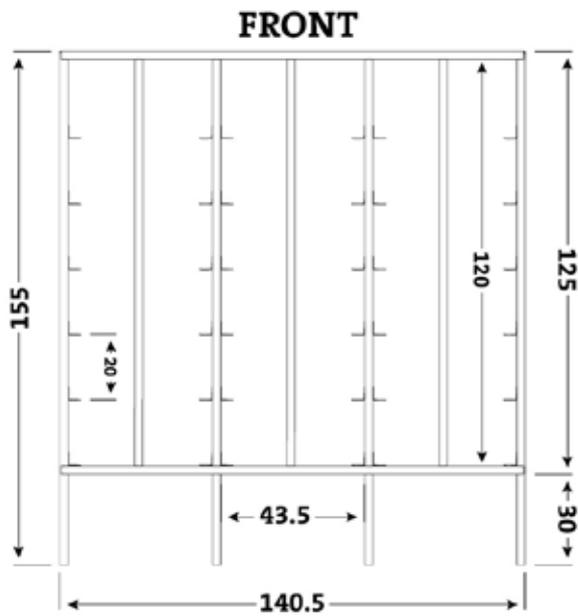
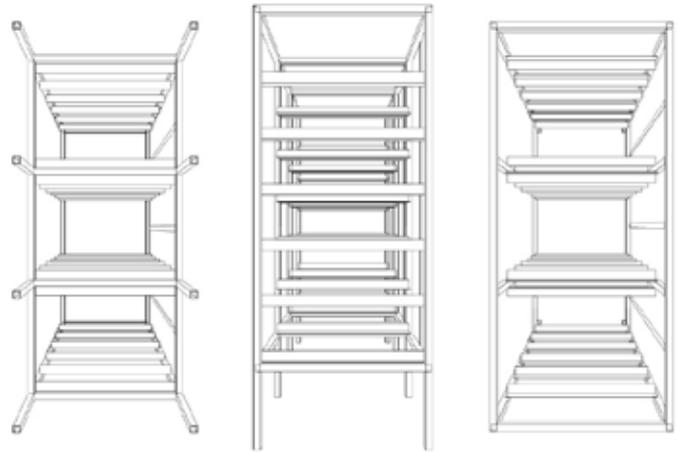
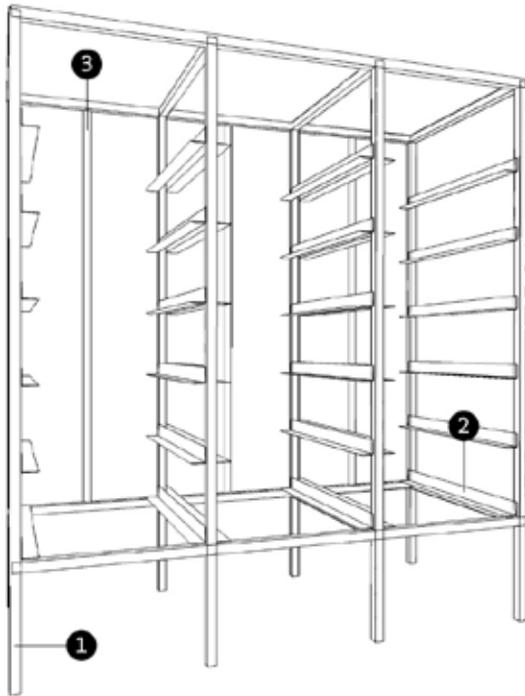


#### Material Used :

1. 1.75 x 1.75 cm Square steel hollow pipe
2. 3.5 x 3.5 cm Square steel hollow pipe
3. 3.5 x 1.75 cm Square steel hollow pipe
4. 2 x 1.75 cm Square steel hollow pipe
5. 3 cm Steel plate

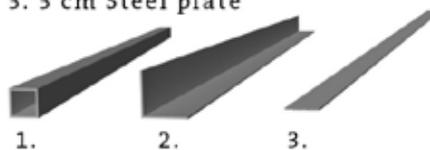


## Rak untuk menumpuk boks inkubator



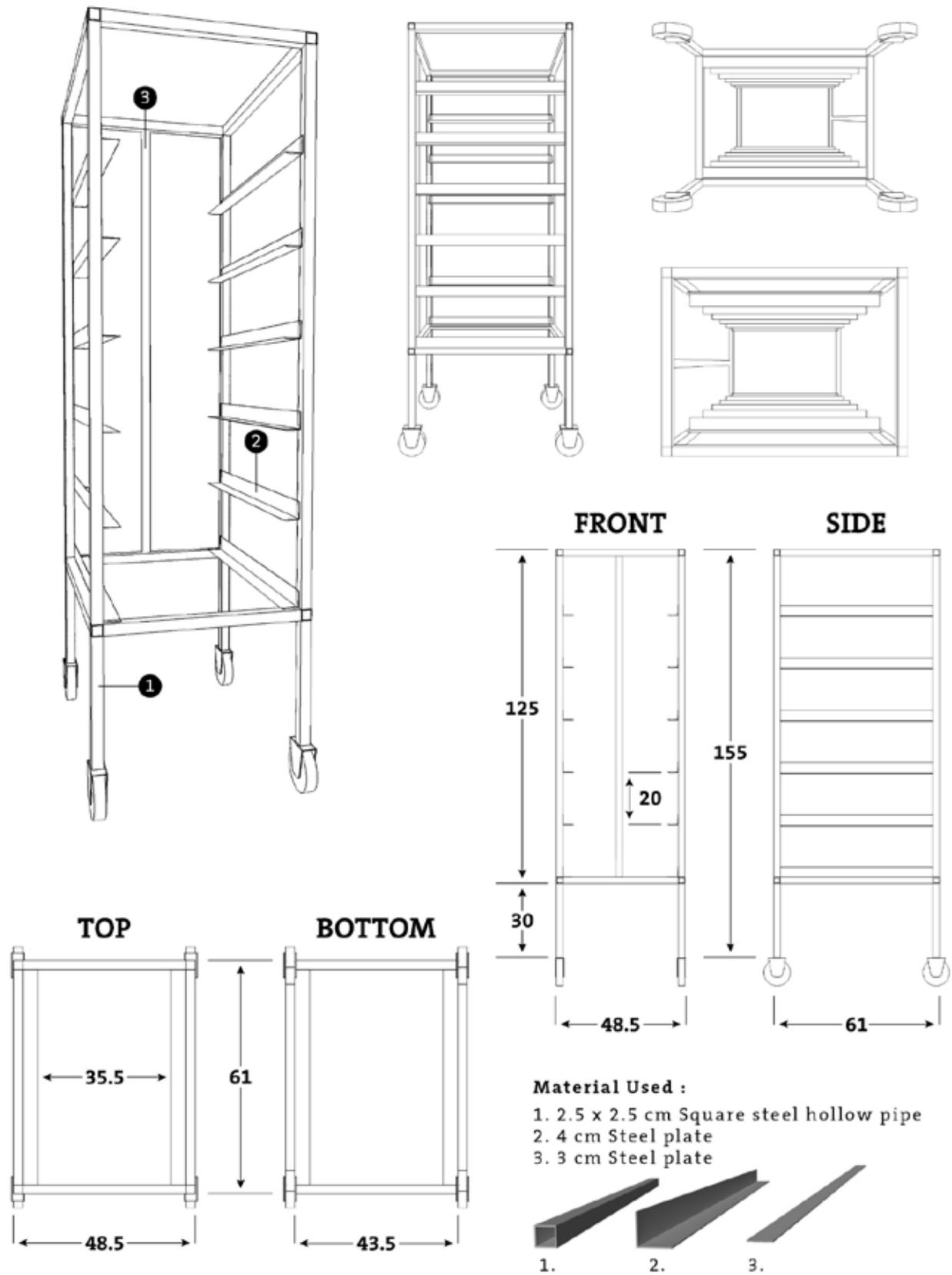
### Material Used :

1. 2.5 x 2.5 cm Square steel hollow pipe
2. 4 cm Steel plate
3. 3 cm Steel plate

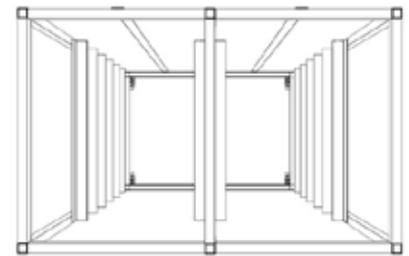
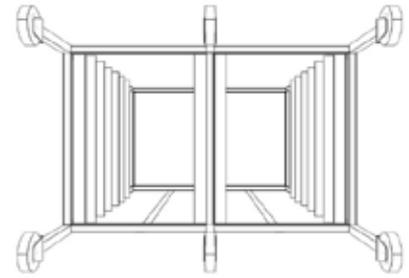
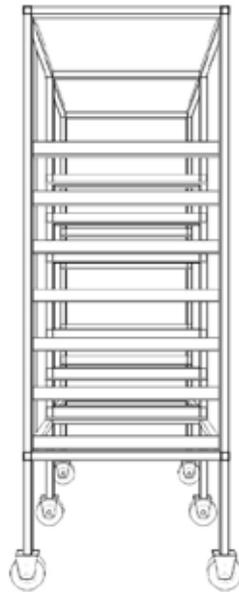
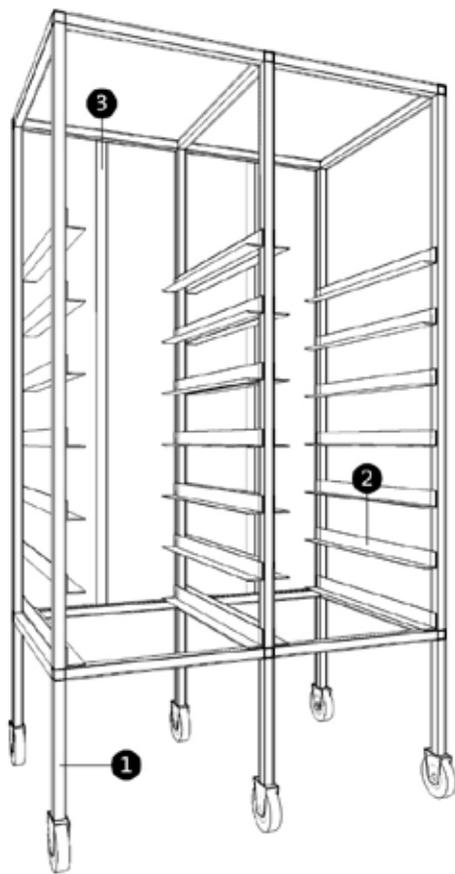




## Rak untuk menumpuk boks pupasi

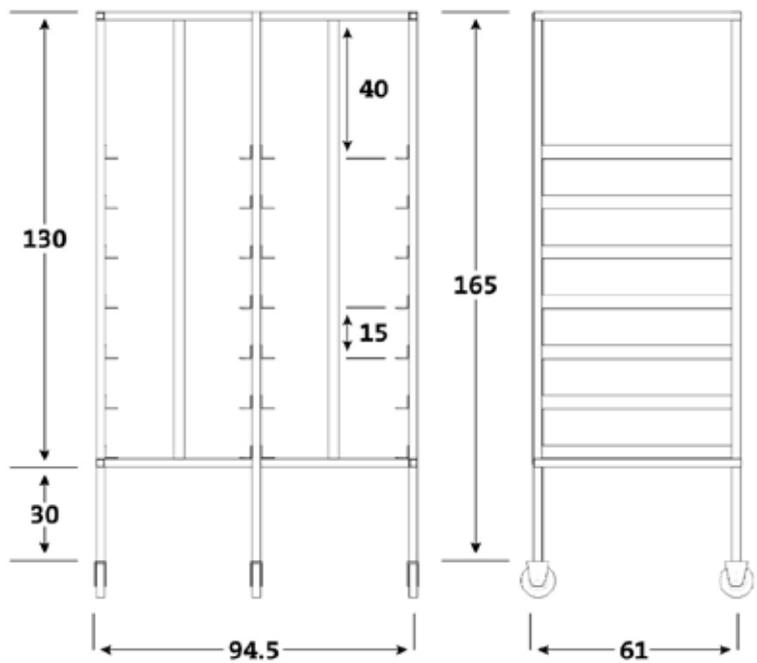


### Kerangka hatchling shower

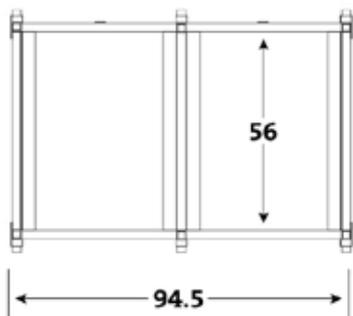


**FRONT**

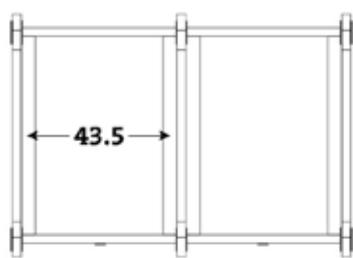
**SIDE**



**TOP**

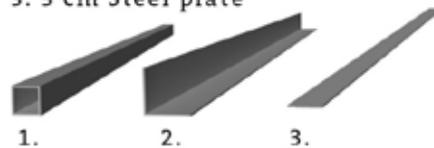


**BOTTOM**

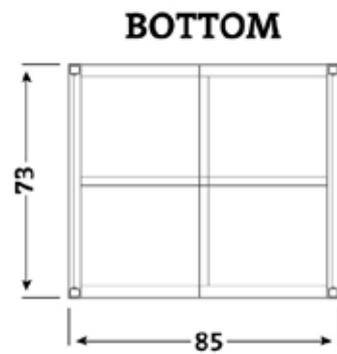
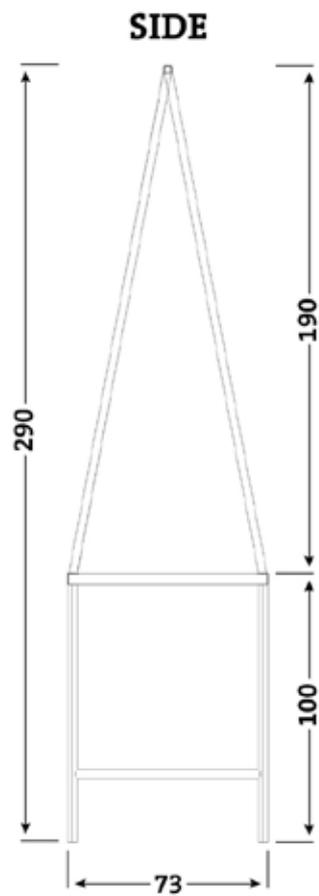
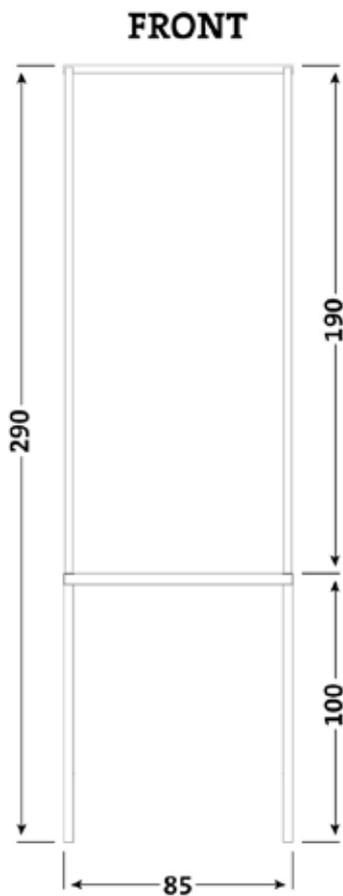
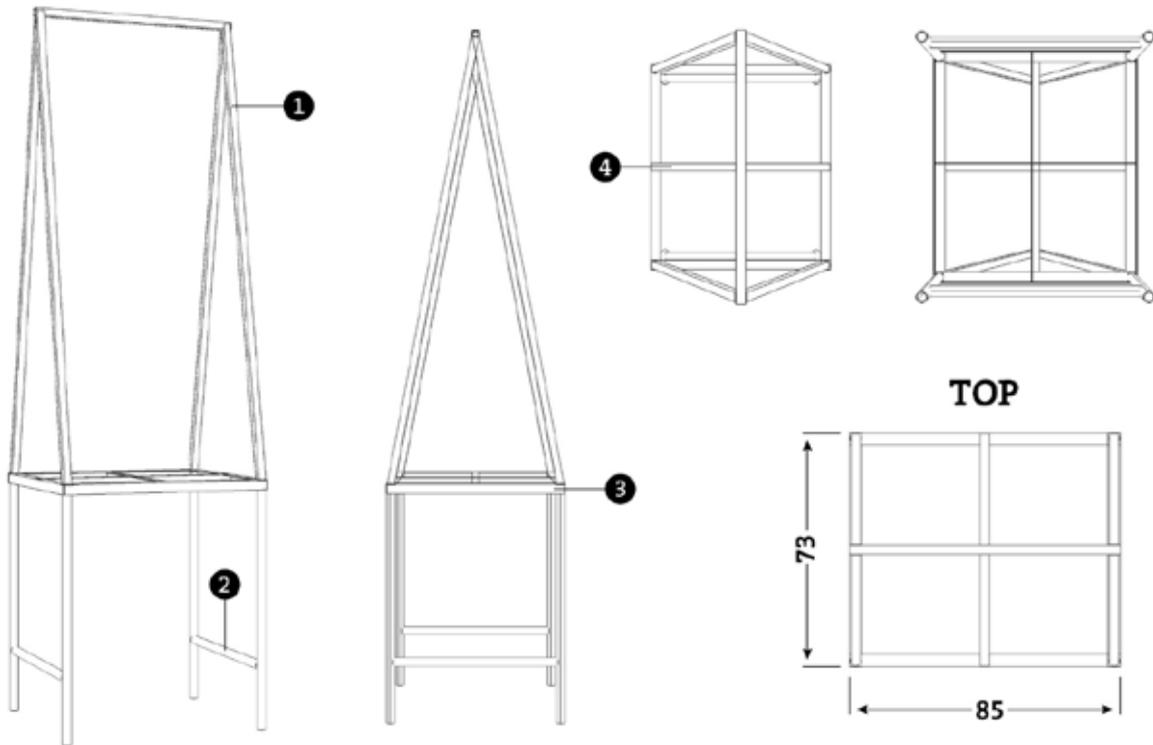


**Material Used :**

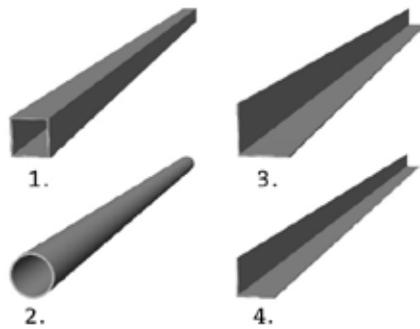
1. 2.5 x 2.5 cm Square steel hollow pipe
2. 4 cm Steel plate
3. 3 cm Steel plate



**Kerangka mobile love cage (fly harvester)**

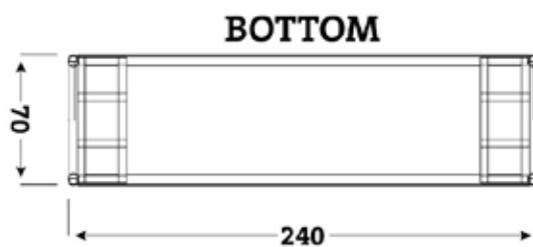
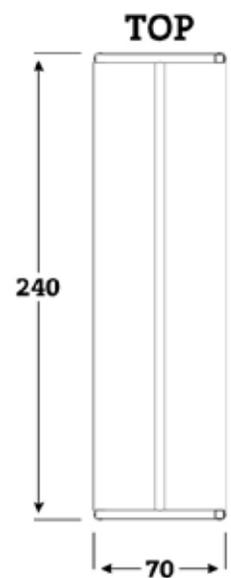
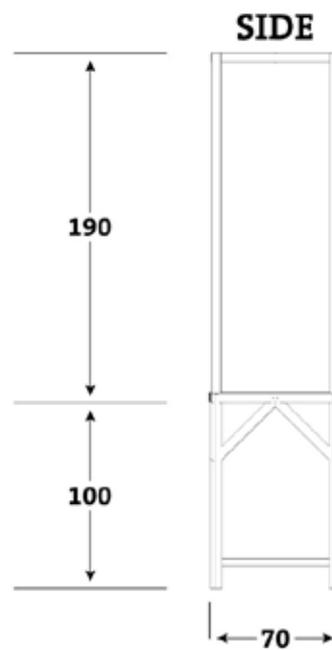
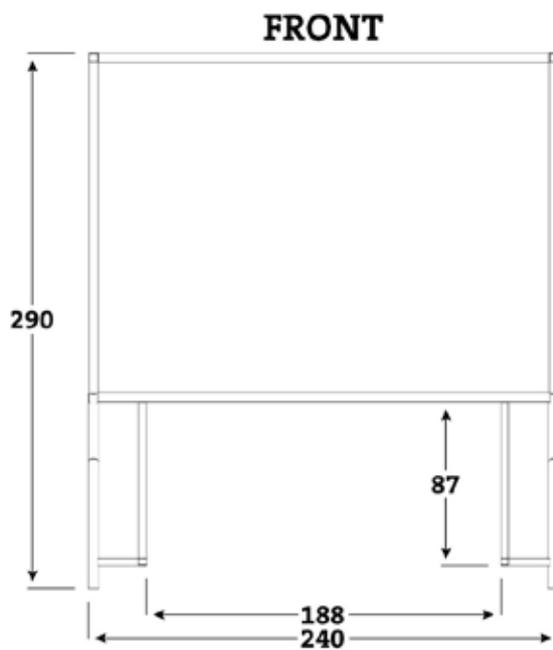
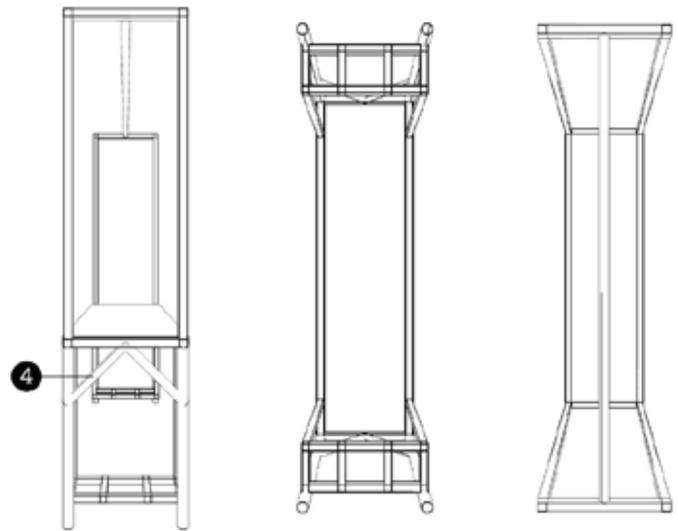
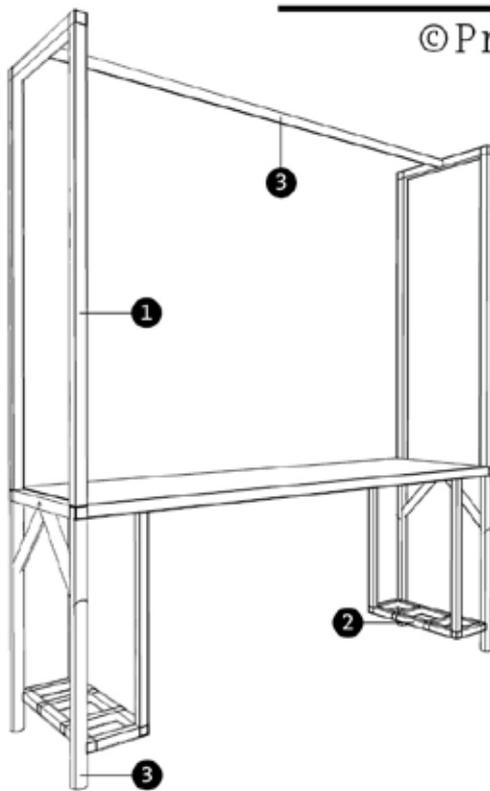


- Material Used :**
1. 3 x 3 cm Square steel hollow pipe
  2. 3.5 cm Steel hollow pipe
  3. 4 x 4 cm Steel plate
  4. 3 x 3 cm Steel plate



## Kerangka meja love cage

©Project Forward

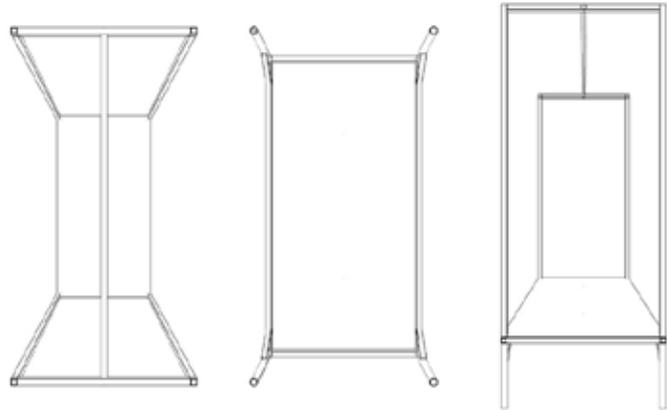
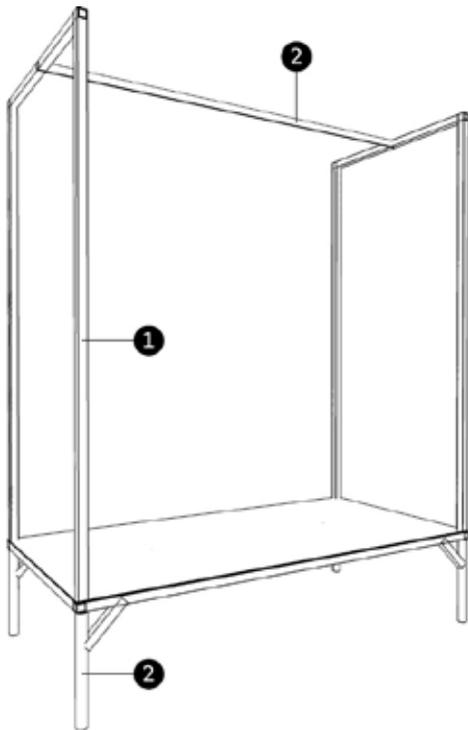


### Material Used :

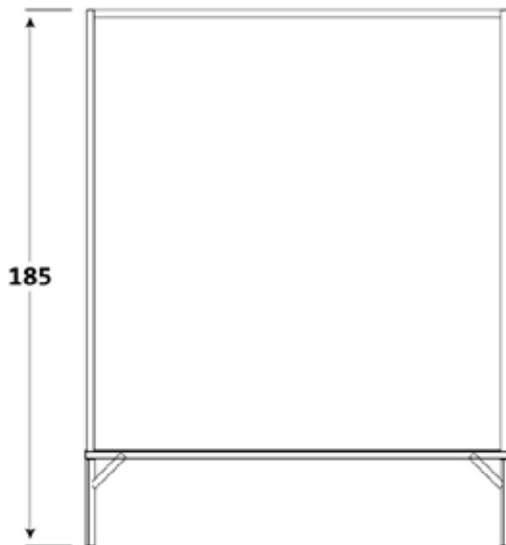
1. 2.5 x 2.5 cm Square steel hollow pipe
2. 2 x 2 cm Square steel hollow pipe
3. 3 cm Steel hollow pipe
4. 2.5 cm Steel hollow pipe



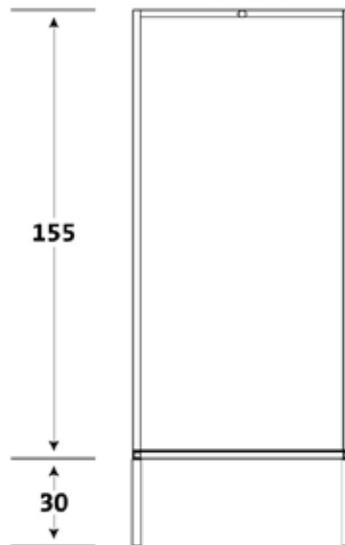
### Kerangka dark cage



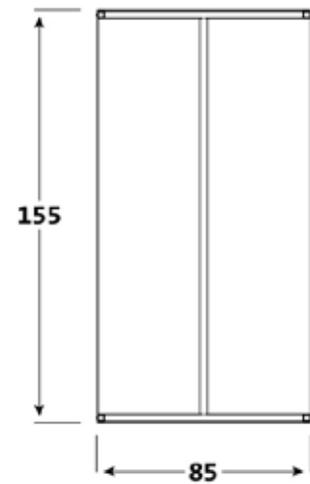
**FRONT**



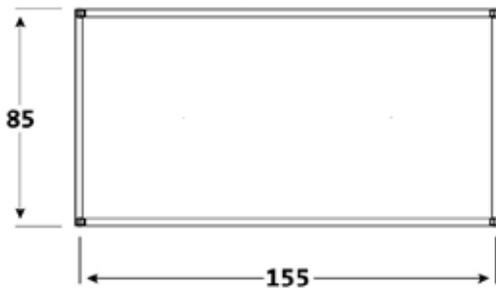
**SIDE**



**TOP**

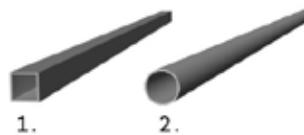


**BOTTOM**

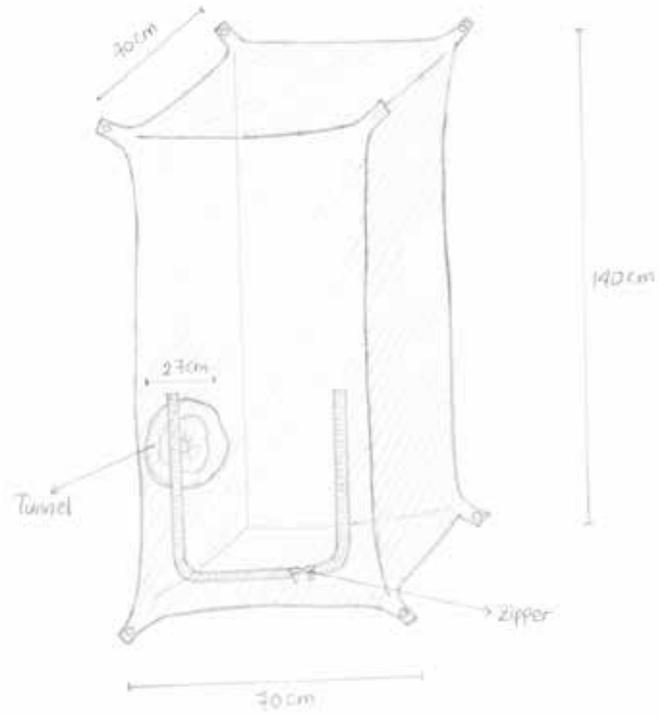


**Material Used :**

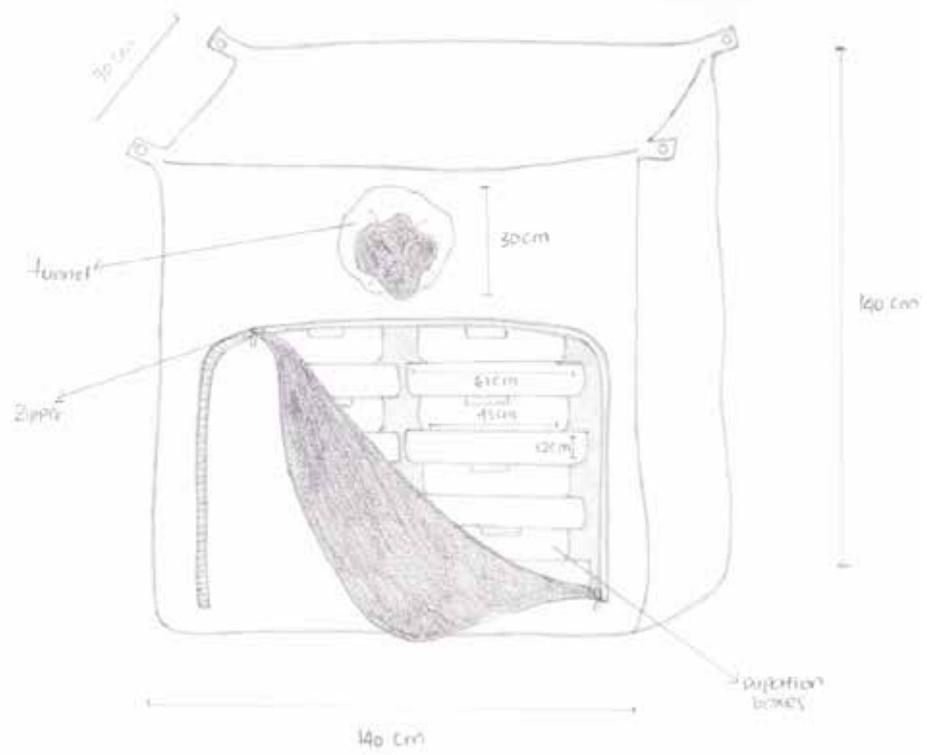
- 1. 2.5 x 2.5 cm Square steel hollow pipe
- 2. 3 cm Steel hollow pipe



### Love cage



### Dark cage



## 7.8 Lampiran I

Daftar peralatan yang dibutuhkan di fasilitas pengolahan sampah organik dengan BSF, pada kapasitas pengolahan 5 ton sampah/hari

Nama item	Dimensi	Unit	Kapasitas/unit
<b>Unit pembiakan BSF</b>			
Boks pupasi	60x40x12	186	7,500 Prapupa/boks
Rak pupasi	243x48.5x61	5	16 Boks/rak
Dark cage (DC)	140x140x70	8	16 Boks/DC
Kerangka dark cage	145x75x190	8	1 Kandang/kerangka
Pengaduk semen (mixer)	Max 350kg	1	512 Boks/hari/mixer
Love cage (LC)	140x70x70	29	8,000 Lalat/LC
Media peneluran (eggies)	25x5x3	290	10 Eggies/LC
Fly harvester	290x73x85	1	12 Dark cage/harvester
Kerangka meja love cage	289x240x70	10	3 LC/kerangka
Boks penetasan	60x40x12	63	665,000 5-DOL/boks
Kerangka hatching shower	165x94.5x61	4	10 Boks/kerangka
Tempat telur (egg holder)	D4.5	40	10 Holder/kerangka
Boks nursery larvero	55x35x14	75	10,000 Larva/Larvero
Boks transfer	60x40x12	75	1 Boks/Larvero
Rak nursery larvero	155x48.5x61	12	6 Larvero+boks/rak
Tempat sampah (storage bin)	80L	6	5,000,000 5-DOL/3 storage bins
Meja kerja	180x70x60	1	6 Boks larvero/meja
Timbangan	Maks. 150 kg	1	10,000,000 5-DOL/timbangan
Timbangan	Maks.35 kg	2	4,000,000 5-DOL/timbangan
Timbangan presisi	Maks.2 kg	4	2,000,000 5-DOL/timbangan
Mesin cuci	Maks. 5 kg	1	16 Cage/mesin cuci
<b>Unit konversi BSFL</b>			
Boks inkubator (SB)	30x20x10	3,875	1 kg sampah/boks
	60x40x15		Boks inkubator/boks konversi
Boks untuk menyimpan SB		969	4
Rak inkubator	155x141x61	39	18 Boks/rak
Boks larvero/konversi	60x40x15	3,875	11 kg sampah/boks
Palet	129x122x15	108	36 Boks/palet
Kerangka ventilasi	129x122x12	540	5 Kerangka per palet
Troli palet	Maks. 2 ton	2	2,520 kg sampah/troli
Mesin pencacah	1 ton/jam	1	8,000 kg sampah/pencacah/hari
Mesin ayak	1 ton/jam	1	3,150 kg residu/pengayak/hari
High pressure washer	-	2	2,520 kg sampah/unit/hari
Timbangan	Maks 150 kg	3	2,000 kg sampah/unit/hari
<b>Unit pengolahan lanjut BSFL (peralatan hanya mempunyai kapasitas yang disediakan, karena produksi tergantung pilihan produk)</b>			
Set perlengkapan sanitasi	Custom made		120 kg larva segar/hari
Microwave dapur	32 L		8 kg larva segar/hari
Microwave skala industri	Maks-30B		210 kg larva segar/hari
Wajan untuk penyangraian dengan pasir	Custom made		24 kg larva segar/hari
Drum dryer untuk penyangraian	Custom made		60 kg larva segar/hari
Oven	Custom made		30 kg larva segar/hari
Screw press skala kecil	DL-ZYJ10B		40 kg larva segar/hari
Screw press skala industry	ZX80		160 kg larva segar/hari
Mesin giling	AGR-GRP-180		480 kg larva segar/hari



Eawag  
Überlandstrasse 133  
8600 Dübendorf  
Switzerland  
Phone +41 (0)58 756 52 86  
[www.eawag.ch](http://www.eawag.ch)  
[www.sandec.ch](http://www.sandec.ch)

Buku ini membahas tentang sampah organik perkotaan yang dihasilkan dari rumah tangga, aktivitas komersial (pertokoan, industri), dan instansi, melalui pendekatan konversi sampah organik oleh larva serangga, yaitu dengan menggunakan Black Soldier Fly (BSF), *Hermetia illucens*.

Teknologi biosistem ini terdiri dari pemberian pakan, berupa sampah organik terpilah untuk larva BSF, yang dipelihara di unit pembiakan (nursery). Larva tumbuh dan berkembang dengan memakan sampah organik dan di saat yang sama juga mengurangi biomassa sampah tersebut. Di akhir proses, larva dipanen dan, jika perlu, diproses pengolahan lanjut menjadi produk pakan hewan yang sesuai.

Panduan ini untuk penggunaan praktis, menjelaskan bahan dan peralatan yang dibutuhkan, disertai dengan tiap langkah kerja, seperti buku masak berisi resep dan bahan yang dibutuhkan. Mencakup semua informasi yang diperlukan untuk mengembangkan dan mengoperasikan fasilitas pengolahan sampah organik dengan BSF, yang mampu mengolah lima ton sampah per hari. Edisi kedua tahun 2021 ini, merupakan pengembangan dari edisi pertama yang diterbitkan pada tahun 2017. Mencakup hasil penelitian terbaru kami, menjelaskan perkembangan dari sistem sebelumnya disertai saran yang disesuaikan dengan kondisi terkini. Secara khusus, edisi kedua ini memiliki tiga bab baru, yaitu pengolahan lanjut BSFL dan pemasaran produk larva, analisis perancangan biaya operasional yang disesuaikan dengan kapasitas fasilitas, serta informasi tentang desain lokasi dan pemilihan model bisnis untuk pengolahan sampah organik dengan BSF.

Edisi kedua ini memperoleh banyak masukan yang signifikan dari dua proyek. FORWARD adalah proyek R&D yang berlokasi di Indonesia, yang didanai oleh Swiss State Secretariat for Economic Affairs (SECO), di bawah kesepakatan kerangka kerja dengan Kementerian Pekerjaan Umum & Perumahan Republik Indonesia (Kementerian PUPR). Berkolaborasi erat dengan otoritas pemerintah pusat dan lokal, peneliti Indonesia, dan perusahaan swasta terpilih untuk memajukan dan mengimplementasikan pengolahan sampah organik dengan BSF. SIBRE adalah proyek penelitian yang didanai oleh Swiss Re Foundation dengan tujuan untuk menghasilkan pengetahuan dan peralatan seputar pengolahan sampah organik dengan BSF, untuk dapat digunakan oleh pengusaha kecil dan menengah, serta kota. Fokus utama SIBRE yaitu pada sudut pandang ekonomi dan mengembangkan protokol standar untuk produk olahan dari larva BSF, serta melakukan pengujian yang sesuai dengan kondisi di Indonesia.