

# Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly (BSF)* Dalam Pengolahan Limbah Organik

Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly (BSF)* Dalam Pengolahan Limbah Organik



Arief Sabdo Yuwono  
Priscilia Dana Mentari



Published by  
SEAMEO BIOTROP  
Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology  
Bogor, Indonesia  
[www.biotrop.org](http://www.biotrop.org)



**Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)  
dalam Pengolahan Limbah Organik**

**Arief Sabdo Yuwono  
Priscilia Dana Mentari**

**SEAMEO BIOTROP  
2018**

**Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)  
dalam Pengolahan Limbah Organik**

Copyright © SEAMEO BIOTROP

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa ijin tertulis dari penerbit.

Diterbitkan pertama kali oleh:

SEAMEO BIOTROP

Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology

Bogor, Indonesia

Cetakan Pertama: Oktober 2018

ISBN: 978-979-8275-57-9

## Kata Pengantar

Buku “Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF) dalam Pengolahan Limbah Organik” ini diterbitkan dengan segala keterbatasan yang ada, baik dari keterbatasan pengetahuan penulis, keterbatasan waktu yang tersedia, maupun keterbatasan aplikasinya di lapangan.

Namun demikian, keterbatasan yang ada tidak menghalangi kami untuk terus maju, menulis dan tetap belajar, sedemikian rupa sehingga semua bahan terkumpul dan terkompilasi. Kami juga berusaha sekuat tenaga agar isi yang ada di dalamnya cukup pantas menjadi sebuah entitas buku.

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pihak yang telah membantu dalam penyelesaian buku ini, yaitu Pak Handi di Kelurahan Margajaya Bogor Barat yang telah membantu dengan penuh sukacita dalam pelaksanaan penelitian degradasi limbah organik serta para pengelola dan analis di Laboratorium Tanah SEAMEO BIOTROP.

Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Ibu Ety Herwati, Dipl. Kim (Pranata Laboratorium Teknik Lingkungan) yang telah membantu menganalisis sampel selama pelaksanaan penelitian degradasi limbah organik di Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan (SIL) IPB. Selain itu, ungkapan terima kasih tak terhingga juga disampaikan kepada Bapak Dr. Agus Pakpahan atas diberikannya kesempatan kepada Penulis untuk mengunjungi fasilitas pengolahan limbah organiknya menggunakan *maggot*.

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada *Board of Director* (BoD) SEAMEO BIOTROP, yaitu Dr. Irdika Mansur, M.For.Sc, Dr. Jesus C. Fernandez dan Dr. Zulhamisyah Imran serta seluruh staf SEAMEO BIOTROP atas diterbitkannya buku ini.

Kami berharap agar buku ini memberi manfaat kepada siapa saja yang memberi perhatian pada masalah pengolahan limbah padat organik, maupun pengelolaan limbah padat pada umumnya. Semoga karya kecil ini membawa manfaat bagi masyarakat luas.

Bogor, Oktober 2018

Penulis

## **Sambutan Direktur SEAMEO BIOTROP**

Limbah organik merupakan bagian (fraksi) terbesar dari limbah padat yang dihasilkan oleh aktifitas manusia. Oleh sebab itu, perhatian yang lebih serius perlu ditujukan ke arah pengelolaan limbah organik ini karena apabila masalah tersebut tertangani dengan baik, maka sebagian besar tantangan pengelolaan limbah padat akan dapat terselesaikan. Dalam rangka ikut berkontribusi dalam menyelesaikan masalah besar tersebut, teknik pengolahan limbah organik dengan menggunakan larva (*maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF) perlu diperkenalkan dengan lebih intens agar implementasinya dapat dilakukan oleh masyarakat secara lebih luas.

SEAMEO BIOTROP (Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology under Southeast Asian Ministers of Education Organization) adalah lembaga regional yang bergerak dalam bidang penelitian, seminar, pelatihan dan diseminasi hasil penelitian biologi tropika.

Sesuai dengan mandat dan fokus program penelitiannya, SEAMEO BIOTROP berkepentingan dalam menjaga kualitas lingkungan, termasuk kualitas ekosistem terestrial dimana manusia melakukan aktifitas kehidupan. Berbagai penelitian sedang dilakukan oleh SEAMEO BIOTROP untuk merestorasi ekosistem yang rusak dan memperbaiki kualitas ekosistem tersebut sehingga seluruh kesatuan ekosistem tersebut, termasuk lingkungan terestrial dimana limbah organik dihasilkan dan diolah, menjadi layak huni bagi mahluk hidup di sekitarnya.

Buku ini sebagian besar berisi hasil penelitian yang dilakukan penulis dan dilengkapi dengan ulasan hasil kunjungan ke lokasi tempat dilakukannya pengolahan limbah organik menggunakan larva (*maggot*) BSF. Selain itu, buku ini juga dilengkapi dengan referensi yang diperoleh dari berbagai sumber, baik dari dalam maupun luar negeri, guna memperkaya pembahasan.

Saya ucapkan terima kasih atas jerih payah para penulis dalam menyiapkan buku ini.

Dr Irdika Mansur M.For.Sc.

Direktur SEAMEO BIOTROP

## Daftar Isi

|  |      |
|--|------|
| <b>Kata Pengantar</b> .....  | iii  |
| <b>Sambutan Direktur SEAMEO BIOTROP</b> .....  | iv   |
| <b>Daftar Isi</b> .....  | v    |
| <b>Daftar Tabel</b> .....  | vii  |
| <b>Daftar Gambar</b> .....   | viii |
| <b>1. Pendahuluan</b> .....  | 1    |
| <b>2. Tinjauan Umum <i>Black Soldier Fly</i></b> .....   | 2    |
| 2.1 Taksonomi .....  | 2    |
| 2.2 Fisiologi .....  | 2    |
| 2.3 Habitat .....  | 4    |
| 2.4 Makanan .....  | 5    |
| 2.5 Perkembangbiakan .....   | 6    |
| 2.6 Analisis Proksimat Larva BSF dan Pre-pupa .....  | 8    |
| 2.7 Fasilitas Pemeliharaan Larva BSF (Dormans <i>et al.</i> 2017) .....                        | 9    |
| <b>3. Studi tentang Dekomposisi Limbah Organik Menggunakan Larva BSF</b> .....                 | 15   |
| 3.1 Limbah Padat .....   | 15   |
| 3.2 Sampah Pasar .....   | 16   |
| 3.3 Proses Dekomposisi .....   | 17   |
| 3.4 Larva <i>Black Soldier Fly</i> .....   | 19   |
| 3.5 Komposisi Kimia Tubuh .....  | 23   |
| 3.6 Reduksi Sampah Organik dengan Larva <i>Black Soldier Fly</i> (BSF) .....                   | 24   |
| <b>4. Mengolah Sampah Padat Organik Rumah Tangga dalam Komposter Bebas Bau</b> .....           | 26   |
| <b>5. Hasil Analisis Kompos dari Konversi Limbah Organik Rumah Tangga oleh Larva BSF</b> ..... | 31   |
| 5.1 Pendahuluan .....  | 31   |
| 5.2 Analisis Hasil Dekomposisi Sampah Organik .....  | 31   |
| <b>6. Struktur Bak Pengolahan Larva BSF Skala Rumah Tangga</b> .....                           | 34   |
| <b>7. Potensi BSF sebagai Sumber Protein</b> .....   | 38   |
| 7.1 Kadar Protein Larva BSF pada Pakan Sampah Pasar Tradisional .....                          | 38   |

Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)

|   |           |
|---|-----------|
| 7.2 Kadar Protein BSF sebagai Sumber Pakan Hewan Ternak .....   | 39        |
| 7.3 Kadar Protein BSF sebagai Sumber Pangan bagi Manusia .....  | 41        |
| <b>8. Reduksi Sampah oleh Larva <i>Black Soldier Fly</i> .....</b>  | <b>45</b> |
| 8.1 Pendahuluan .....   | 45        |
| 8.2 Biokonversi Sampah Organik Menggunakan Larva <i>Black Soldier Fly</i> pada Beberapa Jenis Sampah .....            | 45        |
| <b>9. Karakteristik Dekomposisi Sampah Organik Pasar Tradisional Menggunakan Larva <i>Black Soldier Fly</i> .....</b> | <b>50</b> |
| 9.1 Pendahuluan .....   | 50        |
| 9.2 Pengukuran pH dan Kadar Air pada Kondisi Awal dan Akhir .....   | 50        |
| 9.3 Kondisi Udara di Lokasi Penelitian .....  | 52        |
| 9.4 Perubahan Berat Larva .....   | 53        |
| 9.5 Dekomposisi oleh Larva BSF .....  | 55        |
| <b>10. Pengalaman Praktis dalam Dekomposisi Sampah Organik Menggunakan Larva <i>Black Soldier Fly</i> .....</b>       | <b>61</b> |
| 10.1 Pengolahan BSF di Kota Depok .....   | 61        |
| 10.2 Pengolahan BSF di Leuwiliang, Bogor .....  | 66        |
| 10.3 Pengolahan BSF di Sumedang .....   | 74        |
| <b>Daftar Pustaka .....</b>   | <b>81</b> |
| <b>Tentang Penulis .....</b>  | <b>87</b> |

## Daftar Tabel

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Tabel 2.1 | Morfometri <i>H. illucens</i> .....                                   | 3  |
| Tabel 2.2 | Kandungan nutrisi <i>H. illucens</i> pradewasa pada media PKM .....   | 8  |
| Tabel 2.3 | Macam-macam tipe sampah organik yang sesuai untuk .....               | 10 |
| Tabel 3.1 | Komposisi kimia tubuh larva BSF .....                                 | 24 |
| Tabel 4.1 | Neraca massa timbulan sampah dan nilai kompos yang dihasilkan .....   | 30 |
| Tabel 5.1 | Hasil analisis sampah organik terdekomposisi .....                    | 32 |
| Tabel 7.1 | Kadar protein larva .....   | 38 |
| Tabel 7.2 | Komoditi yang dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia (BPS 2013) .....   | 43 |
| Tabel 7.3 | Turunan protein larva BSF berdasarkan kandungan asam Amino .....      | 43 |
| Tabel 8.1 | Reduksi sampah oleh larva BSF .....                                   | 46 |
| Tabel 8.2 | Reduksi sampah daun singkong oleh larva BSF .....                     | 46 |
| Tabel 8.3 | Nilai reduksi sampah yang dihasilkan dari beberapa jenis sampah ..... | 47 |
| Tabel 8.4 | Nilai reduksi sampah .....  | 48 |
| Tabel 9.1 | Nilai parameter karakteristik dekomposisi sampah .....                | 57 |

## Daftar Gambar

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Morfologi larva, pupa, dan lalat dewasa .....   | 3  |
| Gambar 2.2 | Hubungan panjang tubuh <i>H. illucens</i> betina dengan jumlah telur .....                                | 3  |
| Gambar 2.3 | Tahapan perkembangan telur di bawah stereo mikroskop; (a) 1 jam; (b) 24 jam; (c) 48 jam; (d) 72 jam ..... | 7  |
| Gambar 2.4 | Unit-unit dalam sistem pengolahan BSF .....   | 9  |
| Gambar 2.5 | <i>Hammer mill</i> .....  | 11 |
| Gambar 2.6 | <i>Shaking shieve</i> .....   | 12 |
| Gambar 2.7 | <i>Pelletizer</i> untuk pakan hewan .....   | 13 |
| Gambar 2.8 | <i>Love cage</i> .....  | 14 |
| Gambar 3.1 | Tampak TPS Pasar Tradisional Bogor .....  | 16 |
| Gambar 3.2 | Larva lalat tentara hitam .....   | 18 |
| Gambar 3.3 | Siklus hidup lalat tentara hitam (BSF) .....  | 20 |
| Gambar 3.4 | Pupa lalat tentara hitam (BSF) .....  | 21 |
| Gambar 3.5 | Lalat tentara hitam (BSF) .....   | 21 |
| Gambar 3.6 | Proses dekomposisi sampah wortel oleh larva BSF .....   | 25 |
| Gambar 4.1 | Komposter skala rumah tangga terlihat dari samping (a) dan dari atas (b) .....                            | 27 |
| Gambar 4.2 | Hierarki pengelolaan sampah .....   | 28 |
| Gambar 4.3 | Penyaringan kompos (a) dan pot-pot bunga yang menerima kompos hasil biodegradasi sampah (b) .....         | 29 |
| Gambar 6.1 | Struktur bak kompos sederhana skala rumah tangga .  | 34 |
| Gambar 6.2 | (a) Tampak samping bak kompos; (b) tampak depan bak kompos .....  | 35 |
| Gambar 6.3 | Piktorial bak kompos .....  | 36 |
| Gambar 6.4 | Hasil kompos .....  | 37 |
| Gambar 7.1 | Efisiensi penggunaan pakan .....  | 39 |
| Gambar 7.2 | Perbedaan antara konversi protein pada beberapa hewan .....   | 40 |
| Gambar 7.3 | Pertumbuhan pasar terhadap kitin dan chitosan .....   | 40 |
| Gambar 7.4 | Korelasi antara konsumsi protein harian dengan tinggi badan .....   | 41 |

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Gambar 7.5   | Korelasi antara persen protein hewani terhadap protein total dibanding dengan <i>Gross National Income</i> (GNI) per kapita ..... | 42 |
| Gambar 7.6   | (a) Produk olahan larva BSF; (b) Dikonsumsi anak-anak .....   | 44 |
| Gambar 9.1   | Kadar air sampel sampah organik .....   | 50 |
| Gambar 9.2   | Nilai pH sampel sebelum dan sesudah proses dekomposisi .....  | 51 |
| Gambar 9.3   | Tata letak penyusunan bak dekomposisi .....   | 52 |
| Gambar 9.4   | Perubahan berat larva .....   | 54 |
| Gambar 9.5   | Fase pra-pupa pada sampel pisang .....  | 55 |
| Gambar 9.6   | Laju dekomposisi sampah oleh larva BSF .....  | 56 |
| Gambar 9.7   | Tata letak bak dekomposisi skala rumah tangga .....   | 59 |
| Gambar 9.8   | Rata-rata laju dekomposisi sampah organik pada bak skala rumah tangga .....   | 59 |
| Gambar 10.1  | <i>Hermetia illucens</i> .....  | 61 |
| Gambar 10.2  | Skema pengolahan sampah dengan BSF di Kota Depok.....   | 62 |
| Gambar 10.3  | Bak pengolahan <i>Maggot</i> di UPS Merdeka 2 .....   | 63 |
| Gambar 10.4  | Siklus hidup <i>maggot</i> .....  | 64 |
| Gambar 10.5  | (a) Tampak lalat <i>Black Soldier Fly</i> (BSF); (b) Tempat..   | 64 |
| Gambar 10.6  | Kompos yang dihasilkan dan siap didistribusikan kepada masyarakat Depok .....   | 65 |
| Gambar 10.7  | Tempat pengolahan BSF .....   | 67 |
| Gambar 10.8  | Pakan yang diberikan kepada larva BSF .....   | 67 |
| Gambar 10.9  | Telur BSF yang dihasilkan .....   | 68 |
| Gambar 10.10 | Ruang isolasi larva berumur 1-7 hari .....  | 69 |
| Gambar 10.11 | Larva berumur 3 hari .....  | 69 |
| Gambar 10.12 | Bangunan pengolahan larva .....   | 70 |
| Gambar 10.13 | Larva berumur 8 hari .....  | 70 |
| Gambar 10.14 | Larva pada fase pupa .....  | 71 |
| Gambar 10.15 | Ruang pengolahan lalat BSF .....  | 71 |
| Gambar 10.16 | Ukuran lalat BSF .....  | 72 |
| Gambar 10.17 | Proses kawin pada lalat BSF .....   | 72 |
| Gambar 10.18 | Tampak media telur BSF .....  | 73 |

Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| Gambar 10.19 | Pengolahan BSF di Kota Sumedang .....             | 74 |
| Gambar 10.20 | Bangunan pengolahan larva BSF .....               | 75 |
| Gambar 10.21 | Bak pengolahan larva BSF .....                    | 76 |
| Gambar 10.22 | Instalasi penampungan pupuk cair .....            | 76 |
| Gambar 10.23 | Pupuk cair yang dihasilkan .....                  | 77 |
| Gambar 10.24 | <i>Rearing base</i> .....                         | 77 |
| Gambar 10.25 | Saluran air .....                                 | 78 |
| Gambar 10.26 | <i>Storage pit</i> kompos .....                   | 79 |
| Gambar 10.27 | Kegiatan pemberian pakan pada ternak unggas ..... | 80 |

# 1

## Pendahuluan

Pengelolaan sampah padat telah menjadi masalah besar, baik dalam skala nasional, maupun internasional. Dalam skala nasional, berbagai aspek permasalahan yang timbul antara lain mencakup besarnya bangkitan sampah, tercampurnya sampah padat organik dan anorganik serta yang tergolong dalam bahan berbahaya dan beracun (B3), masalah lokasi penanganan sementara (TPS) dan penanganan akhir (TPA). Masalah lain adalah keberatan masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi TPS dan TPA terhadap masalah sanitasi lokasi permukiman mereka.

Berbagai masalah tersebut bersumber dari tindakan awal yang tidak memenuhi kaidah ilmu Teknik Lingkungan atau sanitasi lingkungan, yaitu pemilahan sampah padat di tempat asal. Pemilahan atau pemisahan atau segregasi merupakan langkah mendasar yang akan mempengaruhi kinerja pemerintah atau otoritas lainnya dalam pengelolaan sampah padat perkotaan (*municipal solid waste*, MSW).

Mengapa pemilahan disebut sebagai langkah dasar? Jawabannya tak lain adalah karena pemilahan membawa implikasi lanjutan yang sangat signifikan bagi langkah-langkah penanganan atau pengolahan sampah. Bila sampah padat dipilah menjadi dua (2), maka sebaiknya pemisahan tersebut menjadi bagian (fraksi) organik dan bagian (fraksi) anorganik. Sampah padat perkotaan dapat pula dipilah menjadi tiga (3) atau empat (4) bagian. Bila dipilah menjadi tiga bagian, maka kelompok tersebut adalah organik, anorganik dan B3 (bahan berbahaya dan beracun). Bila pemilahan dilakukan menjadi empat (4) bagian, maka kelompoknya menjadi sampah organik (*organic*), anorganik yang dapat didaur-ulang (*recyclable*), anorganik yang tidak dapat didaur-ulang (*non recyclable*), dan B3 (bahan berbahaya dan beracun).

Berbagai macam teknologi pengolahan sampah padat perkotaan saat ini telah tersedia, baik yang menggunakan pendekatan fisika, kimia, biologis atau gabungan diantaranya. Dalam buku ini, pengolahan sampah organik dengan sistem biologis akan dibahas, terutama dengan menggunakan agen biologis berupa larva (*maggot*) dari *Black Soldier Fly* (BSF) atau dalam Bahasa Indonesia kadang-kadang disebut lalat tentara hitam. Namun demikian dalam buku ini pemilihan nama yang digunakan untuk larva serangga tersebut adalah tetap sebagai "larva BSF" untuk memudahkan sosialisasi dan pengenalan kepada masyarakat. Selain itu, nama yang lebih populer di Indonesia adalah singkatan atau inisial nama dalam Bahasa Inggrisnya, yaitu "BSF".

## 2

### Tinjauan Umum *Black Soldier Fly*

#### 2.1 Taksonomi

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

- Kingdom : Animalia  
Filum : Arthropoda  
Kelas : Serangga  
Ordo : Diptera  
Famili : Stratiomyidae  
Subfamili : Hermetiinae  
Genus : *Hermetia*  
Spesies : *Hermetia illucens*

Ordo Diptera merupakan ordo keempat terbanyak dikonsumsi oleh manusia. Ordo ini memiliki 16 famili, Diptera merupakan kelompok serangga yang memiliki kapasitas reproduksi terbesar, siklus hidup tersingkat, kecepatan pertumbuhan yang tinggi, dan dapat mengonsumsi pakan yang variatif dari jenis materi organik. Serangga merupakan sumber zat seng terbaik dengan rentang nilai sebesar 61,6 hingga 340,5 mg/kg berat kering (Morales-Ramos *et al.* 2014).

#### 2.2 Fisiologi

*Black Soldier Fly* berwarna hitam dengan bagian segmen basal abdomen berwarna transparan (*wasp waist*) sekilas memiliki bentuk abdomen yang sama dengan lebah. Panjang lalat berkisar antara 15-20 mm dan mempunyai waktu hidup lima sampai delapan hari. Lalat dewasa tidak memiliki bagian mulut yang fungsional karena lalat dewasa hanya beraktivitas untuk kawin dan bereproduksi sepanjang hidupnya. Pada waktu lalat dewasa berkembang dari pupa, kondisi sayap dalam keadaan terlipat kemudian mulai mengembang sempurna hingga menutupi bagian torak. Berdasarkan jenis kelaminnya, lalat betina umumnya memiliki daya tahan hidup yang lebih pendek dibandingkan dengan lalat jantan (Tomberlin dan Sheppard 2009).



Gambar 2.1 Morfologi larva, pupa, dan lalat dewasa

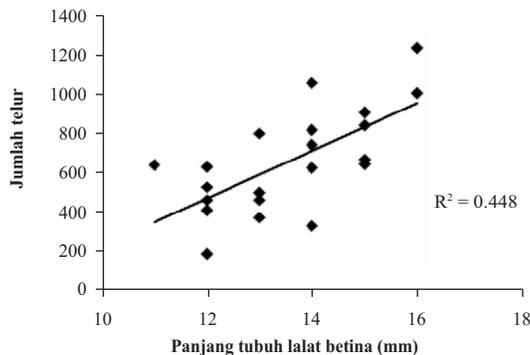
Sumber: McShaffrey (2013) dan koleksi pribadi

Morfometri (panjang tubuh, panjang antena, serta panjang dan lebar sayap) *H. illucens* betina relatif lebih besar daripada jantan (Tabel 2.1). Keperidian imago betina berkisar antara 185 dan 1.235 telur. Berdasarkan garis regresi linear, jumlah telur berbanding lurus dengan ukuran tubuh (Gambar 2.2) (Rachmawati *et al.* 2010). Betina hanya satu kali meletakkan telur, setelah itu tidak lagi ditemukan ovarium yang berkembang.

Tabel 2.1 Morfometri *H. illucens*

| Jenis kelamin | Morfometri rata-rata (mm) $\pm$ SD |                |                |               |
|---------------|------------------------------------|----------------|----------------|---------------|
|               | Panjang tubuh                      | Panjang antena | Sayap          |               |
|               |                                    |                | Panjang        | Lebar         |
| Jantan        | 12,7 $\pm$ 1,1                     | 3,2 $\pm$ 0,4  | 9,4 $\pm$ 0,7  | 3,3 $\pm$ 0,2 |
| Betina        | 13,5 $\pm$ 1,4                     | 3,8 $\pm$ 0,4  | 10,6 $\pm$ 0,9 | 3,9 $\pm$ 0,4 |

Sumber: Rachmawati *et al.* 2010



Gambar 2.2 Hubungan panjang tubuh *H. illucens* betina dengan jumlah telur

Sumber: Rachmawati *et al.* 2010

### 2.3 Habitat

Larva BSF dapat hidup secara optimal pada suhu 29,3°C dan tersebar pada 40° lintang utara hingga 45° lintang selatan (Leclercq 1997). *Maggot* dikenal bukan sebagai hama, karena bentuk dewasanya tidak tertarik pada habitat manusia atau makanan (Newton *et al.* 1995). Larva dan pupa *H. illucens* yang dipelihara pada suhu 27°C, berkembang lebih lambat (4 hari) daripada yang dipelihara pada suhu 30°C, sementara pada suhu 36 °C, hampir tidak ada pupa yang sintas. Hal tersebut menunjukkan bahwa pemasukan panas total (*total heat input*) yang diterima oleh larva yang dipelihara pada suhu 30°C lebih cepat terpenuhi, guna melengkapi syarat perkembangan menuju tahap pupa, daripada larva yang dipelihara pada suhu 27°C (Rachawati *et al.* 2010).

Menurut Linnaeus (1758), *Hermetia illucens* tersebar di beberapa negara. Negara-negara tersebut adalah Afrika, Albania, Argentina, Australia, Belau, Belize, Pulau Bonin, Brazil, British Virgin Islands, Kamerun, Canary Islands, Chili, Colombia, Congo, Costa Rica, Croatia, Dominica, Dominican Republic, Ecuador, El Salvador, Perancis, French Polynesia, Ghana, Grenada, Guam, Guatemala, Guyana, Haiti, Hawaii, Honduras, India (Assam, Karnataka, Kerala, Maharashtra, Manipur, Punjab, Sikkim, Tamil Nadu, Uttar Pradesh, West Bengal), Indonesia, Italia Ivory Coast, Jamaika, Jepang, Kenya, Kiribati, Madagaskar, Malaysia, Mali, Malta, Marshall Islands, Mexico, Mikronesia, Namibia, Nepal, New Caledonia, New Zealand, Northern Marianas, Panama, Papua Nugini, Paraguay, Peru, Filipina, Puerto Rico, Seychelles, Solomon Islands, Afrika Selatan, Spanyol, Sri Lanka, Suriname, Swiss, Taiwan, Tanzania, Thailand, Trinidad, Uruguay, Vanuatu, Venezuela, Vietnam, Samoa Barat, Yugoslavia, Zaire, Zambia. *H. illucens* dapat berkembang di banyak negara. Kondisi lingkungan yang optimal bagi larva adalah sebagai berikut (Dormans *et al.* 2017):

- 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 dingin. 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.

## 2.4 Makanan

Larva BSF dapat mengonsumsi berbagai makanan dengan variasi rasa yang bervariasi. Larva BSF dapat diberi berbagai macam pakan, diantaranya adalah sampah dapur, buah-buahan, sayuran, hati, limbah ikan, limbah perkotaan, limbah manusia, dan kotoran hewan. Fleksibilitas dari pakan larva BSF dapat menjadi serangga yang ideal dalam memproduksi protein. Namun perbedaan pakan dapat mempengaruhi proses perkembangan dari larva BSF. Maka dibutuhkan formulasi yang tepat dalam pemberian pakan terhadap larva BSF agar memaksimalkan produksi dan efisiensi. Menurut Wang dan Shelomi (2017) beberapa mikroba yang digunakan sebagai proses pra perlakuan dapat meningkatkan kemampuan pencernaan dari larva BSF, proses perkembangan larva, serta peningkatan massa dari tahap pra-pupa. Solusi potensial dari penentuan pakan ini yaitu penggunaan probiotik (Dossey *et al.* 2016).

Kebutuhan nutrisi lalat dewasa dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya adalah kandungan lemak yang disimpan saat masa pupa. Pada saat simpanan lemak habis, maka lalat akan mati (Makkar *et al.* 2014). Lama hidup *H. illucens* dewasa berkisar antara 1 dan 2 minggu bergantung pada pakan larva dan juga pakan tambahan pada tahapan dewasa tersebut. Imago yang diberi air dapat hidup lebih lama daripada yang tidak diberi air sama sekali (Tomberlin *et al.* 2002; Myers *et al.* 2008). Berdasarkan Rachmawati *et al.* (2010) imago yang diberi pakan madu hidup kurang lebih sama dengan yang diberi air saja. Namun, betina yang diberi pakan madu meletakkan telur lebih banyak daripada yang diletakkan betina yang diberi air saja. Secara umum, karakteristik pakan yang efektif diberikan kepada larva adalah (Dormans *et al.* 2017):

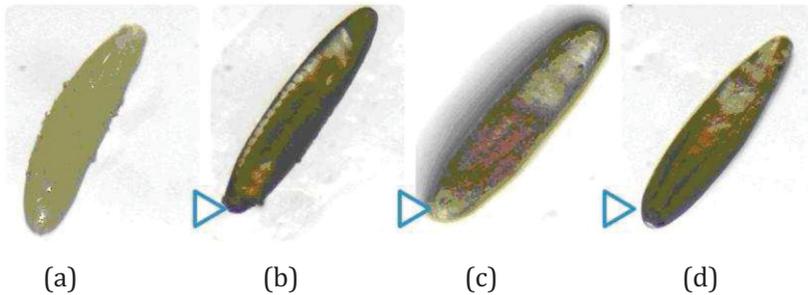
- Kandungan air dalam makanan: sumber makanan harus cukup lembab dengan kandungan air antara 60% sampai 90% supaya dapat dicerna oleh larva.
- Kebutuhan nutrisi pada makanan: bahan-bahan yang kaya protein dan karbohidrat akan menghasilkan pertumbuhan yang baik bagi larva. Penelitian yang sedang berlangsung menunjukkan bahwa sampah yang telah melalui proses penguraian bakteri atau jamur kemungkinan akan lebih mudah dikonsumsi oleh larva.
- Ukuran partikel makanan: karena larva tidak memiliki bagian mulut untuk mengunyah, maka nutrisi akan mudah diserap jika substratnya berupa bagian-bagian kecil atau bahkan dalam bentuk cair atau seperti bubur.

Seperti serangga dewasa pada umumnya dan parasitoid pada khususnya, madu atau sumber gula lainnya (embun, madu, nektar, nektar selain dari bunga) merupakan salah satu sumber untuk memenuhi kebutuhan nutrisi jangka pendek untuk mencari inang yang sesuai (Lewis *et al.* 1998). Pada *Cotesia marginiventris* (Hymenoptera: Braconidae), madu mampu meningkatkan produksi telurnya (Riddick 2007). *Hermetia illucens* bukan termasuk ke dalam serangga proovigenik, karena betina dewasa yang muncul dari pupa tidak membawa sejumlah telur matang (Tomberlin *et al.* 2002). Penelitian ini juga menunjukkan bahwa *H. illucens* hanya meletakkan telur satu kali dalam hidupnya, karena ovarium tidak lagi berkembang pasca oviposisi. *H. illucens* diduga termasuk serangga sinovigenik. Hal tersebut diduga menjadi penyebab singkatnya lama hidup *H. illucens* dewasa.

Sebagai serangga sinovigenik, imago *H. illucens* menggunakan cadangan energi (dalam bentuk badan lemak) yang ditimbunnya selama tahapan pradewasa (larva). Kelak cadangan energi tersebut digunakan imago untuk alokasi reproduksi dan sintasan. Dengan demikian, porsi alokasi reproduksi bisa saja berkurang guna memenuhi kebutuhan sintasan. Bila pada tahapan tersebut imago betina memperoleh makanan tambahan, maka diharapkan porsi untuk alokasi reproduksi tidak berkurang, bila mungkin bertambah. Pakan tambahan berupa madu 5% diduga tidak terlalu mempengaruhi lama hidup. Akan tetapi, pakan tambahan diduga dapat mempengaruhi keperidiannya.

## 2.5 Perkembangbiakan

Larva BSF betina meletakkan telurnya pada beberapa variasi substrat organik, baik tumbuhan maupun hewan yang membusuk seperti buah-buahan, sayuran, kompos, humus, ampas kopi, bahan-bahan pangan (kecap, madu, polen), kotoran ternak, manusia, bangkai hewan dan manusia, serta di dalam sarang rayap (Leclercq 1997). Telur BSF melewati masa inkubasi selama 72 jam atau 3 hari. Perubahan yang dapat diamati di bawah mikroskop stereo antara lain: (a) telur yang baru diletakkan; (b) dalam 24 jam telah terjadi embriogenesis, yang dapat terlihat antara lain segmentasi bakal tubuh larva; (c) dalam 48 jam bentuk tubuh larva mulai terlihat jelas, terdapat bintik mata merah dan bagian mulut yang mulai berpigmen; (d) dalam 72 jam tampak bagian-bagian yang lebih jelas seperti saluran spirakel yang memanjang dari lateral spirakel menuju posterior spirakel, serta bintik mata dan bagian mulut yang tampak semakin jelas, pergerakan tubuh embrio juga terlihat. Tahapan perkembangan telur *Hermetia illucens* disajikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Tahapan perkembangan telur di bawah stereo mikroskop;  
(a) 1 jam; (b) 24 jam; (c) 48 jam; (d) 72 jam

Pada saat telur menetas, larva muncul dan langsung memasuki tahap makan. Laju pertumbuhan relatif larva sangat pesat hingga hari ke-8. Bobot tubuh juga terus bertambah sampai ketika hendak memasuki tahapan prepupa. Karena tahapan prepupa adalah tahapan ketika tidak lagi dilakukan aktivitas makan, maka ada kecenderungan ketika hendak memulai inisiasi pupa, bobot tubuh prepupa menjadi sedikit berkurang. Tahapan larva yang berkulit putih berlangsung kurang lebih 12 hari. Selanjutnya larva mulai berubah warna menjadi coklat dan semakin gelap seminggu kemudian. Prepupa sejak hari ke-19. Pupa 100% dicapai pada hari ke-24. Tahapan pupa berlangsung berikutnya selama 8 hari kemudian, Imago mulai muncul pada hari ke-32. Imago yang muncul dari pupa, yang kemudian diberi perlakuan pakan tambahan air dan madu, menunjukkan sedikit perbedaan lama hidup dan jumlah telur.

Pada proses perkawinan setiap kali dibutuhkan, lalat yang keluar akan diambil dari kandang gelap. Hal ini dilakukan dengan cara menghubungkan kandang gelap ini dengan sebuah terowongan yang tidak gelap dan tergantung pada bingkai yang dapat dipindahkan. Hal ini karena merupakan tempat di mana perkawinan terjadi, maka kami menamakannya "love cage" atau kandang kawin (Gambar 2.5). Pencahayaan yang dipasang pada ujung terowongan akan menarik lalat untuk terbang dari kandang gelap ke kandang kawin.

Kandang kawin secara berurutan dihubungkan dengan tiga sampai empat kandang gelap untuk mengumpulkan lalat yang baru keluar. Metode ini memungkinkan kepadatan lalat yang konstan dan stabil dalam kandang kawin. Selain itu, lalat-lalat yang telah diambil tersebut memiliki usia yang sama. Ada manfaatnya apabila di kandang perkawinan terdapat lalat-lalat yang berusia sama, yaitu lalat-lalat tersebut akan kawin dan bertelur pada waktu yang kurang lebih sama, dan oleh karena itu, jumlah telurnya akan

bisa diprediksi sehingga pembiakan masal dapat dilakukan dengan lebih efisien. Kandang kawin dilengkapi dengan kain basah untuk menjaga agar lalat-lalat di dalamnya tidak kekurangan kelembaban. Selain itu juga ada eggies dan sebuah kotak berisi atraktan. Maka, di sini siklus pemeliharaan berakhir.

## 2.6 Analisis Proksimat Larva BSF dan Pre-pupa

Kadar bahan kering larva meningkat menurut umur. Kadar bahan kering berkisar antara 26,61% (larva umur 5 hari) dan 39,97% (pre-pupa). Peningkatan kadar lemak tampak pesat sejak hari ke-10. Kadar lemak kasar berkisar antara 13,37% (larva umur 5 hari) dan 27,50% (prepupa). Kadar protein kasar larva menurun drastis setelah hari ke-5. Pada hari ke-5, kadar protein bernilai 61,42%. Sejak hari ke- 10 hingga hari ke-25, kadarnya berkisar antara 42,07% dan 45,85%. Kadar abu kasar pada setiap umur tampak sedikit fluktuatif namun nilainya masih berkisar antara 7,65% dan 11,36%. Setelah diletakkan pada substrat yang tepat, telur akan segera memasuki masa inkubasi. Kandungan nutrisi *H. illucens* pradewasa pada media PKM disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kandungan nutrisi *H. illucens* pradewasa pada media PKM

| Umur (hari) | Kadar (%)    |               |             |           |
|-------------|--------------|---------------|-------------|-----------|
|             | Bahan kering | Protein kasar | Lemak kasar | Abu kasar |
| 5           | 26,61        | 61,42         | 13,37       | 11,03     |
| 10          | 37,66        | 44,44         | 14,60       | 08,62     |
| 15          | 37,94        | 44,01         | 19,61       | 07,65     |
| 20          | 39,20        | 42,07         | 23,94       | 11,36     |
| 25          | 39,97        | 45,87         | 27,50       | 09,91     |
| Rata-rata   | 36,28        | 47,56         | 19,80       | 09,71     |
| SD          | 05,48        | 07,86         | 06,02       | 01,58     |

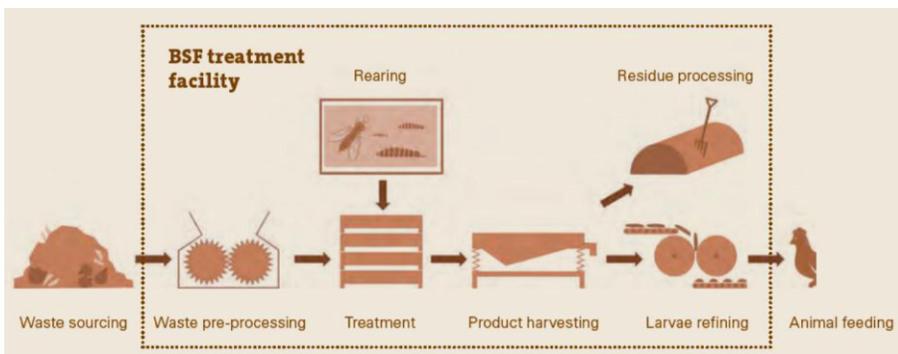
Sumber: Rachmawati *et al.* (2010)

Menurut Rachmawati *et al.* (2010) masa inkubasi telur *H. illucens* berlangsung lebih singkat daripada masa inkubasi *H. illucens* di beragam tempat. Pada suhu 24 °C, telur *H. illucens* menetas dalam 102 sampai 105 jam (4,3 hari) (Booth & Sheppard 1984). Di Argentina, telur menetas 4 sampai 6 hari. Di Selandia Baru telur menetas 5 hari di bulan Februari dan 7 sampai 14 hari di bulan April (Sheppard *et al.* 2002). Oleh karena, waktu inkubasi total telur berlangsung kurang lebih satu hari lebih singkat, maka perkembangan embrionik yang teramati pada penelitian ini juga berlangsung lebih cepat daripada yang dipaparkan oleh Booth dan Sheppard (1984).

Perbedaan waktu perkembangan tersebut diduga disebabkan oleh faktor suhu dan kelembaban udara, karena suhu lingkungan dan kelembaban berkorelasi negatif dengan waktu inkubasi telur atau perkembangan embrio (Chapman 1998). Hubungan antara suhu lingkungan dan waktu perkembangan dapat digunakan untuk menghitung (suhu dikalikan waktu) pemasukan panas total (*total heat input*) atau derajat hari (*degree days*). Bila suhu lingkungan dikompensasi dengan lamanya waktu inkubasi, maka sesungguhnya derajat hari untuk perkembangan suatu spesies adalah sama untuk setiap suhu lingkungan di atas suhu minimum untuk perkembangan embrio secara penuh (*full development*) (Zalom *et al.* 1983; Chapman 1998). Jadi, meskipun suhu minimum untuk perkembangan embrio secara penuh dan derajat hari penetasan telur *H. illucens* belum diketahui, namun dapat diduga bahwa nilainya sama antara penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya.

## 2.7 Fasilitas Pemeliharaan Larva BSF (Dormans *et al.* 2017)

Fasilitas pengolahan BSF dapat didesain dan dioperasikan untuk mencapai target tertentu berdasarkan siklus hidup alami BSF. Contohnya, biaya dapat diatur secara efektif dengan cara menambah kualitas larva atau memaksimalkan kuantitas massa larva yang diproduksi dalam waktu tertentu atau berdasarkan bahan baku, mirip seperti sistem pembiakan hewan ternak (ayam, sapi, dll.). Unit-unit dalam sistem pengolahan BSF disajikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Unit-unit dalam sistem pengolahan BSF

Fasilitas yang perlu ada dalam proses utama pengolahan sampah organik dengan BSF yaitu:

1. Unit pembiakan masal BSF

Unit ini digunakan untuk memelihara larva-larva kecil (disebut 5-DOL) agar selalu tersedia dengan jumlah yang konsisten dan dapat digunakan untuk mengolah sampah organik yang datang setiap harinya di fasilitas pengolahan tersebut. Namun, dalam unit pemeliharaan ini, jumlah larva yang menetas dibatasi dalam jumlah tertentu untuk menjamin kestabilan pembiakan populasinya.

2. Unit penerimaan sampah dan pra-proses

Hal yang sangat penting adalah memastikan bahwa sampah yang diterima di fasilitas tersebut cocok untuk menjadi makanan bagi larva-larvanya. Untuk itu, langkah pertama adalah mengontrol sampah untuk memastikan bahwa sampah tersebut tidak mengandung material berbahaya dan bahan non-organik. Langkah selanjutnya adalah memperkecil ukuran partikel sampah, mengurangi kadar air jika tingkat kelembabannya terlalu tinggi, dan/atau mencampur beragam jenis sampah organik untuk menghasilkan makanan yang seimbang nutrisi dan kelembabannya untuk larva (70-80%). Macam-macam tipe sampah organik yang sesuai untuk pengolahan dengan BSF disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Macam-macam tipe sampah organik yang sesuai untuk pengolahan dengan BSF

|                             |                           |                                 |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Sampah perkotaan            | Sampah Agro-industri      | Pupuk dan feses                 |
| Sampah organik perkotaan    | Sampah pengolahan makanan | Kotoran unggas                  |
| Sampah makanan dan restoran | Biji-bijian sisa          | Kotoran babi                    |
| Sampah pasar                | Sampah rumah potong hewan | Kotoran manusia<br>Lumpur tinja |

Langkah pertama yang dilakukan setelah sampah diterima adalah mengecek kualitas sampah untuk memastikan tidak ada material berbahaya dan bahan non-organik yang terkandung di dalamnya. Beberapa kantong plastik yang ditemukan di dalam sampah mungkin bukan masalah besar karena dapat disortir dan dibuang secara manual. Namun, bahan berbahaya/kontaminan sama sekali tidak boleh ada karena dapat mempengaruhi seluruh organisme hidup: larva, bakteri-bakteri terkait, dan

tentu saja para pekerja. Asam, pelarut, pestisida, deterjen, dan logam berat merupakan zat-zat yang termasuk dalam kategori berbahaya dan oleh karena itu harus dijauhkan apabila zat-zat tersebut berupa cairan atau larutan. Ini karena zat-zat tersebut dapat dengan mudah mengontaminasi bahan sampah secara keseluruhan. Jika sampah yang datang diduga mengandung kontaminasi tersebut, maka sampah tersebut harus ditolak.

Apabila kualitas sampah sudah dipastikan, langkah selanjutnya adalah mengecilkan ukuran partikel sampah. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan mesin pencacah atau mesin palu pabrik (*hammer mill*) (Gambar 2.5). Teknologi apapun yang nantinya digunakan, alatnya harus dapat menghancurkan sampah menjadi partikel dengan ukuran diameter kurang dari 1-2 cm. Hal ini dapat membantu mempercepat proses karena bagian mulut larva tidak sesuai menghancurkan gumpalan sampah yang besar. Serta meningkatkan area permukaan dapat membantu perkembangan dan pertumbuhan bakteri yang berasosiasi dengan BSF.



Gambar 2.5 *Hammer mill*

### 3. Unit pengolahan sampah dengan BSF

Pada unit ini, unit pembiakan diberi makan sampah organik dalam kontainer yang disebut “larvero”. Larva yang memakan sampah organik ini kemudian tumbuh menjadi larva besar sehingga dapat mengolah dan mengurangi sampah. Tepat sebelum berubah menjadi prepupa, larva diambil dari larvero. Residu sampah yang tertinggal di larvero juga merupakan produk yang bernilai tinggi. Setelah 12 hari pengolahan sampah dengan larva BSF, setiap larvero dipanen. Di tahap ini, larva telah mencapai

## Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)

berat maksimal mereka, namun belum berubah menjadi prapupa. Nilai nutrisi mereka pun berada pada titik maksimal.

Pemanenan adalah proses pemisahan larva dari residu. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan *shaking shieve* (ayakan bergetar) manual maupun otomatis sehingga larva dapat dengan mudah dipisahkan dari residu. Dengan frekuensi getar yang lebih tinggi, ukuran jaring dari mesin *sieve* (ayakan) tersebut bisa lebih besar. Hal ini karena larva akan kesulitan menempatkan diri mereka dan tidak dapat keluar dari jaring ketika frekuensi getarannya besar. Penggunaan *shaking sieve* otomatis dapat menghasilkan frekuensi getaran lebih tinggi daripada yang manual, sehingga *shaking shieve* otomatis lebih banyak dipilih. *Shaking sieve* yang digunakan disajikan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Shaking shieve*

### 4. Unit pasca pengolahan (pemurnian larva dan pemrosesan residu)

Apabila diperlukan, baik larva dan residu dapat diolah lebih lanjut untuk menyesuaikan dengan permintaan pasar lokal. Hal ini disebut “pemurnian produk”. Biasanya, langkah awalnya dilakukan dengan memati kan larva. Namun ada juga langkah lainnya untuk pemurnian larva, seperti pembekuan atau pengeringan, atau dengan memisahkan minyak larva dari protein larva. Sedangkan untuk pemurnian residu, biasanya dilakukan dengan pengomposan atau dimasukkan ke digester biogas untuk bahan produksi.

Cara pemanfaatan lainnya adalah dengan membuat pellet pakan. Larva yang baru dipanen dapat dicampur dengan bahan lain (seperti kedelai, sorgum, jagung, dll.) untuk membuat campuran yang memenuhi kebutuhan nutrisi hewan yang dituju (ayam pedaging, ayam petelur, beberapa spesies ikan, dll.). Campuran ini dapat dimasukkan langsung ke mesin pencetak pellet (*pelletizer*) yang akan mengompresnya menjadi pellet pakan (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 *Pelletizer* untuk pakan hewan

Pengetahuan akan siklus hidup di alam seperti yang dijelaskan di atas merupakan dasar dari fasilitas pengolahan sampah yang efisien dan dapat diandalkan dengan menggunakan larva BSF. Namun, untuk mengolah sampah organik secara teratur, seluruh siklus hidup BSF harus dikontrol sehingga dapat terbentuk suatu biosistem yang terancang dengan baik. Untuk membuat lingkungan yang hampir sama dengan habitat asli BSF sekaligus menjamin keberlanjutan pengolahan sampah, poin-poin berikut ini harus diperhatikan saat memilih tempat yang tepat untuk fasilitas pengolahan BSF (Dormans *et al.* 2017):

- Ketersediaan sampah segar dalam jumlah yang memadai dengan biaya rendah, dalam jumlah yang dapat diperkirakan, dan tersedia secara teratur.
- Rute pengiriman sampah dan pengambilan residu harus dijaga dengan baik dan dapat diakses dengan mudah sepanjang tahun.
- Sebaiknya menghindari pemakaian lokasi yang berpopulasi padat serta wilayah yang pengguna tanah sekitarnya tidak menerima adanya fasilitas pengolahan sampah.

## Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)

- Sebaiknya tersedia air dan listrik yang cukup untuk pengoperasian fasilitas.
- Penyangga lingkungan (*environmental buffer*) yang cukup tersedia, yang dapat dapat berfungsi sebagai pembatas antara area fasilitas pengolahan sampah dengan area sekitarnya juga harus dijaga (misalnya lahan terbuka, pepohonan, pagar, dll).
- Arah hembusan angin di fasilitas harus berlawanan dari daerah pemukiman.
- Untuk praktisnya, perhitungannya dapat berupa 50 m<sup>2</sup> untuk *nursery* dan 100 m<sup>2</sup> per ton sampah yang masuk setiap harinya.
- Ruang untuk pembiakan masal BSF harus tertutup dan berventilasi, sedangkan *love cage* harus terpapar cahaya matahari. Bentuk *love cage* disajikan pada gambar 2.8.
- Kontainer pengolahan harus teduh dan terhindar dari cahaya matahari langsung.
- Harus ada kantor dan ruang laboratorium.
- Harus ada toilet dan fasilitas kebersihan.



Gambar 2.8 *Love cage*

### 3

## Studi tentang Dekomposisi Limbah Organik Menggunakan Larva BSF

### 3.1 Limbah Padat

Limbah padat adalah bahan padat yang dihasilkan dari gabungan perumahan, industri dan kegiatan komersial di daerah tertentu. Hal ini dapat dikategorikan menurut asal-usulnya, sesuai isinya, atau sesuai dengan potensi bahaya dan racunnya (Ibrahim & Mohamed 2016). Pengelolaan limbah padat perkotaan saat ini menjadi tantangan besar, bukan hanya karena faktor kesehatan namun juga faktor lingkungan karena banyaknya limbah yang dihasilkan (Mani & Singh 2016). Produksi limbah secara global meningkat selama sepuluh tahun terakhir, seiring dengan kenaikan populasi. Sebuah studi di tahun 2010 memperkirakan peningkatan penduduk sekitar 3 miliar jiwa menghasilkan peningkatan 1,3 miliar ton sampah padat perkotaan (MSW) per tahunnya. Laporan tersebut juga memperkirakan kenaikan jumlah penduduk di tahun 2025 sebanyak 4,3 miliar penduduk dapat menyebabkan peningkatan produksi limbah per kapita sebesar 1,42 kg/hari limbah padat perkotaan. Limbah padat terdiri dari berbagai unsur penyusun dalam proporsi dan komposisi yang berbeda (Elwan *et al.* 2015).

Limbah padat juga dapat mengandung bahan atau produk yang dapat dimanfaatkan kembali (Forbes *et al.* 2007). Contoh di negara India menunjukkan bahwa pada produksi limbah padat perkotaan, terdapat limbah yang mudah terurai sebesar 45% dan limbah yang sulit terurai sebesar 55%. Limbah mudah terurai terdiri dari limbah dapur sebesar 44%, dan berasal dari limbah non-dapur sebesar 56% (Soni *et al.* 2016). Nilai kalor rata-rata limbah padat perkotaan (MSW) yaitu 10 MJ/kg dan limbah tersebut logis digunakan sebagai sumber energi (Malinauskaite *et al.* 2017).

Data pada Kementerian Negara Lingkungan Hidup (KNLH 2008) menyebutkan, Indonesia menghasilkan sampah sebanyak 38,5 juta ton/tahun. Pulau Jawa menjadi penyumbang terbesar dengan menghasilkan 21,2 juta ton/tahun sampah disusul oleh Pulau Sumatera yang menghasilkan 8,7 juta ton/tahun. Sampah tersebut berasal dari daerah permukiman (perumahan dan apartemen) dan non-permukiman (industri, rumah sakit, dan institusi). Sampah tersebut harus dikelola dengan baik agar tidak mengganggu kesehatan makhluk hidup.

### 3.2 Sampah Pasar

Definisi sampah menurut Hadiwiyoto (1983) adalah sisa bahan yang mengalami beberapa perlakuan, baik karena telah diambil bagian utamanya atau karena sudah tidak ada manfaatnya, yang ditinjau dari segi sosial ekonomi tidak ada harganya dan dari segi lingkungan dapat menyebabkan pencemaran atau gangguan kelestarian. Menurut Apriadji (1989), sampah adalah zat-zat atau benda-benda yang sudah tidak terpakai lagi, baik berupa bahan buangan yang berasal dari rumah tangga maupun dari pabrik sebagai sisa proses industri. Sampah pasar merupakan salah satu kontributor terbesar sampah organik dalam satu wilayah. Sampah yang berasal dari pasar khusus seperti pasar sayur-mayur, pasar buah, atau pasar ikan memiliki kandungan organik rata-rata sebesar 95%. Kondisi ini memungkinkan sampah pasar lebih mudah ditangani. Berbeda dengan sampah yang berasal dari permukiman yang memiliki kandungan organik rata-rata sebesar 75% (Supriatna 2008). Tampak TPS pasar tradisional di Kota Bogor disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tampak TPS Pasar Tradisional Bogor

Sampah pasar tradisional atau dapat disebut sebagai *vegetable-market solid waste*, diproduksi secara massal di daerah perkotaan. Setiap tahun, aktivitas manusia, peternakan, dan pertanian menghasilkan 38 milyar meter kubik sampah organik di seluruh dunia. Hal ini menyebabkan pembuangan dan manajemen pengelolaan sampah menjadi prioritas global. Rata-rata satu pasar tradisional di Indonesia menghasilkan 5-8 ton sampah per hari (Suthar 2009).

Penggolongan sampah yang sering digunakan di Indonesia adalah sampah organik dan sampah anorganik. Sampah organik terdiri dari sampah daun-

daunan, kayu, kertas, karton, tulang, sisa-sisa makanan, sayur, buah, dan lain-lain. Sampah anorganik terdiri dari kaleng, plastik, besi dan logam berat. Klasifikasi sampah merupakan hal penting bagi pengolahan sampah selanjutnya. Sistem pemilahan yang baik dan benar akan mempermudah proses pengolahan sampah pada tahap selanjutnya.

### 3.3 Proses Dekomposisi

Pemanfaatan kembali dari limbah padat menjadi energi atau pemulihan material dilakukan berdasarkan hierarki pengelolaan limbah. Pengomposan merupakan bentuk pemulihan sumber daya dari limbah padat dengan mendekomposisi bahan organik dengan bantuan organisme maupun mikroorganisme. Produk dari proses pemulihan ini adalah kompos yang diaplikasikan pada tanah pertanian (Saeed *et al.* 2009). Pengomposan merupakan proses dekomposisi bahan biologis padatan organik dalam kondisi aerobik melalui aktivitas mikroba yang berbeda, menghasilkan produk yang stabil dan sesuai untuk ditambahkan ke tanah (Insam & de Bertoldi 2007). Namun, komunitas mikroba ini sangat dipengaruhi oleh fase mesofilik dan fase termofilik selama pengomposan dan juga oleh sifat fisik dari bahan awal limbah (Varma *et al.* 2017).

Secara keseluruhan, struktur komunitas mikroba dan aktivitas enzimatik memberikan informasi penting untuk pemantauan proses pengomposan dan stabilitas kematangan kompos (Villar *et al.* 2016). Menurut Weber *et al.* (2007), penggunaan kompos yang terbuat dari limbah padat perkotaan atau pasar terbukti dapat meningkatkan kandungan mineral tanah menjadi lebih baik dibanding penggunaan pupuk dari proses pengomposan biasa. Menurut Newton *et al.* (2005) mendefinisikan dekomposisi sebagai perombakan sampah organik menjadi sumber energi metan melalui proses fermentasi yang melibatkan organisme hidup. Proses ini biasanya dikenal sebagai penguraian secara anaerob. Umumnya organisme yang berperan dalam proses biokonversi ini adalah bakteri, jamur dan larva serangga (family: *Calliphoridae*-blow fly, *Muscidae*-house fly, *Stratiomyidae*-soldier fly). Tampak larva lalat tentara hitam (BSF) disajikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Larva lalat tentara hitam

Gagasan menggunakan larva lalat untuk pengolahan sampah organik diusulkan hampir 100 tahun yang lalu. Sejak itu, banyak penelitian laboratorium telah menunjukkan bahwa beberapa spesies lalat sangat sesuai untuk biodegradasi limbah organik, seperti lalat tentara hitam (*Hermetia illucens* L.) menjadi serangga yang paling banyak dipelajari. Larva lalat rumah berkembang dengan baik pada kotoran hewan, sedangkan larva lalat tentara hitam menerima variasi bahan organik yang mudah membusuk. Larva lalat tentara hitam dapat digunakan untuk mengurangi massa kotoran hewan, lumpur tinja, sampah kota, sisa makanan, dan limbah pasar, serta residu tanaman. Hasil dari degradasi menggunakan larva lalat tentara hitam menghasilkan kompos yang lebih baik daripada pupuk kotoran hewan atau residu tanaman (Diener 2010).

Larva dapat digunakan sebagai pakan ternak atau untuk menghasilkan produk sekunder seperti biodiesel. Limbah residu hasil dekomposisi dapat menjadi kompos yang berharga dengan nilai manfaat yang tinggi. Selama biodegradasi suhu substrat meningkat, perubahan pH dari netral menjadi basa, pelepasan amonia meningkat, dan penurunan kelembaban. Beban mikroba beberapa patogen dapat dikurangi secara substansial. Larva dan residu yang dicerna memerlukan perawatan lebih lanjut untuk menghilangkan patogen.

Populasi larva lalat sangat bermanfaat bagi proses pengomposan dalam mendegradasi sampah organik. Hambatan utama yang terkait dengan produksi larva lalat dari limbah organik pada skala besar adalah pengetahuan biologi mengenai larva lalat yang belum memadai. Selain itu, kendala terhadap bahan baku larva BSF yang saat ini belum komersial di Indonesia, sehingga sulit untuk mendapatkan bibit larva BSF. Hal yang

diperlukan dalam peningkatan produksi larva adalah untuk menghasilkan telur dalam jumlah besar, sehingga dibutuhkan solusi untuk meningkatkan kapasitas produksi serta inovasi teknologi yang dapat meningkatkan kinerja fasilitas biodegradasi dan menurunkan biaya produksi (Cickova *et al.* 2015). Biokonversi dalam penelitian ini adalah mendaur ulang sampah organik yang tersedia dalam jumlah melimpah dengan memanfaatkan larva lalat tentara hitam atau *Black Soldier Fly* (BSF). Biokonversi membutuhkan penelitian lebih lanjut terhadap proses pengolahan yang tepat.

### **3.4 Larva *Black Soldier Fly***

#### **3.4.1 Siklus Hidup**

Fase telur dalam larva BSF menandakan permulaan siklus hidup sekaligus berakhirnya tahap hidup sebelumnya, di mana jenis lalat ini menghasilkan kelompok telur (juga biasa disebut *ovipositing*). Lalat betina meletakkan sekitar 400 hingga 800 telur di dekat bahan organik yang membusuk dan memasukkannya ke dalam rongga-rongga yang kecil, kering, dan terlindung (Holmes *et al.* 2012). Betina tersebut akan mati tidak lama setelah bertelur. Telur-telur tersebut diletakkan dekat dengan bahan organik yang membusuk supaya saat menetas nanti larva dapat dengan mudah menemukan sumber makanan di sekitar mereka, karena ditempatkan dalam rongga-rongga yang terlindungi dari pengaruh lingkungan .

Pada umumnya, telur-telur tersebut menetas setelah satu hingga dua hari. Larva yang baru menetas, yang berukuran hanya beberapa millimeter, segera mencari makan dan memakan sampah organik di sekitarnya. Larva akan memakan bahan organik yang membusuk tersebut dengan rakus, sehingga ukuran tubuhnya yang awalnya hanya beberapa millimeter itu akan bertambah panjangnya menjadi 2,5 cm dan lebarnya 0,5 cm, sedangkan warnanya menjadi agak krem. Pada kondisi optimal dengan kualitas dan kuantitas makanan yang ideal, pertumbuhan larva akan berlangsung selama 12-13 hari. Waktu dari telur hingga pra-pupa berkisar dari 22-24 hari pada suhu 27°C. (Tomberlin *et al.* 2002). Siklus hidup lalat BSF disajikan pada Gambar 3.3.

Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)



Gambar 3.3 Siklus hidup lalat tentara hitam (BSF)

Pada tahap perkembangan larva inilah mereka menyimpan cadangan lemak dan protein hingga cukup bagi mereka untuk berpupa sampai menjadi lalat, kemudian menemukan pasangan, kawin, dan bertelur (bagi betina) sebelum akhirnya mati. Setelah melalui lima fase larva (lima instar), larva tersebut sampai ke fase pra-pupa. Saat bertransformasi menjadi pra-pupa, struktur mulutnya berubah menjadi struktur yang bentuknya seperti kait dan warnanya menjadi cokelat tua hingga abu-abu arang. Mulut berbentuk kait ini memudahkannya untuk keluar dan berpindah dari sumber makanannya ke lingkungan baru yang kering, bertekstur seperti humus, teduh, dan terlindung, yang aman dari predator. Pada tempat inilah pupa menjadi imago dan kemudian terbang (Dengah *et al.* 2016).



Gambar 3.4 Pupa lalat tentara hitam (BSF)

Pupasi merupakan proses transformasi dari pupa menjadi lalat. Pupa lalat tentara hitam disajikan pada Gambar 3.4. Tahap pupasi dimulai saat pra-pupa menemukan tempat yang cocok untuk berhenti beraktivitas dan menjadi kaku. Supaya proses pupasi berhasil, sebaiknya tempat memiliki kondisi lingkungan yang tidak banyak mengalami perubahan, atau dapat dikatakan tempat yang selalu hangat, kering, dan teduh. Tahapan pupa berlangsung selama 6 hari, kemudian imago mulai muncul pada hari ke-32 (Rachmawati *et al.* 2010). Pupasi ditandai dengan keluarnya lalat dari dalam pupa. Proses keluarnya lalat ini berlangsung sangat singkat. Pada kurun waktu kurang dari lima menit, lalat sudah berhasil membuka bagian pupa yang dulunya merupakan bagian kepala, kemudian merangkak keluar, mengeringkan sayapnya lalu mengembangkannya dan terbang. Tampak lalat tentara hitam disajikan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Lalat tentara hitam (BSF)

Setelah keluar, lalat dapat hidup sekitar satu minggu. Lalat akan mencari pasangan, kawin, dan bertelur (bagi para betina) dalam waktu yang cukup singkat. Saat menjadi lalat, BSF tidak makan dan hanya membutuhkan sumber air dan permukaan yang lembab untuk menjaga tubuhnya agar tetap terhidrasi. Pada 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 dapat meningkatkan jumlah telur yang diproduksi. Menurut hasil penelitian, lalat jenis ini lebih memilih melakukan perkawinan di waktu pagi hari yang terang. Setelah itu, lalat betina mencari tempat yang cocok untuk meletakkan telurnya (BPTP 2016).

### 3.4.2 Kondisi Lingkungan Hidup

*Black Soldier Fly* (BSF) atau dalam bahasa latin *Hermetia illucens* merupakan spesies lalat dari ordo Diptera, family Stratiomyidae dengan genus *Hermetia*. BSF merupakan lalat asli dari benua Amerika dan sudah tersebar hampir di seluruh dunia antara 45° LU - 40° LS (Diener 2010). BSF juga ditemukan di Indonesia, tepatnya di daerah Maluku dan Irian Jaya sebagai salah satu ekosistem alami BSF. Suhu optimum pertumbuhan BSF adalah antara 30°C-36°C. Larva BSF tidak dapat bertahan pada suhu kurang dari 7°C dan suhu lebih dari 45°C (Popa & Green 2012).

Kondisi lingkungan dan sumber makanan yang optimal bagi larva yaitu iklim yang hangat dengan suhu ideal berkisar antara 30°C hingga 36°C. Jika terlalu panas, larva akan keluar dari sumber makanannya untuk mencari tempat yang lebih dingin. Jika terlalu dingin, metabolisme larva menjadi lebih lambat, akibatnya larva makan lebih sedikit sehingga pertumbuhannya pun menjadi lambat. Kemudian lingkungan yang teduh juga baik bagi perkembangan larva BSF. 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. Kemudian kandungan air dalam makanan harus cukup lembab dengan kandungan air antara 60% sampai 90% supaya dapat dicerna oleh larva (Diener *et al.* 2011).

Kebutuhan nutrisi pada makanan juga harus diperhatikan, bahan-bahan yang kaya protein dan karbohidrat dapat menghasilkan pertumbuhan yang baik bagi larva. Penelitian yang sudah berlangsung menunjukkan bahwa sampah yang telah melalui proses penguraian bakteri atau jamur kemungkinan akan lebih mudah dikonsumsi oleh larva (Diener 2010).

Ukuran partikel makanan juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi karena larva tidak memiliki bagian mulut untuk mengunyah, maka nutrisi akan mudah diserap jika substratnya berupa bagian-bagian kecil atau bahkan dalam bentuk cair atau seperti bubur.

Larva lalat BSF ini tergolong "kebal" dan dapat hidup di lingkungan yang cukup ekstrim, seperti di media/sampah yang banyak mengandung garam, alkohol, *acid*/asam dan amonia. Mereka hidup di suasana yang hangat, dan jika udara lingkungan sekitar sangat dingin atau kekurangan makanan, maka larva BSF tidak mati tapi mereka menjadi fakum atau tidak aktif menunggu sampai cuaca menjadi hangat kembali atau makanan sudah kembali tersedia. Mereka juga dapat hidup di air atau dalam suasana alkohol. Serangga BSF memiliki beberapa karakter diantaranya dapat mereduksi sampah organik, dapat hidup dalam toleransi pH yang cukup tinggi, tidak membawa gen penyakit, mempunyai kandungan protein yang cukup tinggi, masa hidup sebagai larva cukup lama ( $\pm$  4 minggu), dan mudah dibudidayakan (Suciati & Faruq 2017). Maka, larva BSF mampu bertahan pada kondisi lingkungan yang ekstrim. Kemampuan larva BSF yang toleran terhadap kondisi lingkungan buruk ini, membuat penerapan reduksi dengan Larva BSF menjadi lebih potensial dibandingkan dengan organisme lain.

### **3.5 Komposisi Kimia Tubuh**

Kadar air pada tubuh larva BSF menurun seiring pertumbuhannya dan paling rendah pada fase pupa. Kandungan protein pada tubuh larva BSF memiliki kandungan yang relatif tinggi. Kulit kering dari BSF dan larva mati yang diperoleh kemudian dapat dimanfaatkan menjadi campuran bahan pakan ternak. Hasil analisis kimia menunjukkan BSF kaya akan protein dan lemak yang bernilai ekonomi untuk pembuatan pakan ternak.

Kandungan lemak dari larva BSF juga dapat dimanfaatkan sebagai biodiesel. Biodiesel dari larva BSF yang digunakan untuk mendegradasi kotoran hewan diperkirakan memiliki nilai energi yang sebanding dengan gas metana (CH<sub>4</sub>) yang dihasilkan kotoran hewan yang didegradasinya. Pra-pupa dan pupa BSF juga memiliki kandungan kalsium (Ca) dan fosfor (P) yang tinggi. Kandungan kimia tubuh BSF pada beberapa tahapan siklus hidup larva BSF disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi kimia tubuh larva BSF

| Kandungan Kimia | Larva Prematur (%) | Pre-Pupa (%) | Pupa (%) |
|-----------------|--------------------|--------------|----------|
| Protein         | 17,3               | 36,0-48,0    | 42,1     |
| Lemak           | 9,4                | 28,0-35,0    | 34,8     |
| Kalsium         | 0,8                | 5,0          | 5,0      |
| Fosfor          | 0,5                | 0,9-1,5      | 1,5      |
| Debu            | ~15,0              | 14,6-16,6    | 14,6     |
| Nilai Kalori    | 0,0                | 3,5-5,9      | 0,0      |

Sumber: Popa dan Green 2012

### 3.6 Reduksi Sampah Organik dengan Larva *Black Soldier Fly* (BSF)

Konversi materi organik oleh larva BSF merupakan teknologi daur ulang yang sangat menarik dan memiliki potensi ekonomi yang cukup tinggi (Diener 2010). BSF dianggap menguntungkan, karena larva BSF memanfaatkan sampah organik baik dari hewan, tumbuhan, maupun dari kotoran hewan dan kotoran manusia sebagai makanannya dan meningkatkan nilai daur ulang dari sampah organik. Beberapa penelitian juga menunjukkan larva BSF mampu mendegradasi sampah organik, baik dari hewan maupun tumbuhan lebih baik dibanding serangga lainnya yang pernah diteliti (Kim *et al.* 2010). Larva BSF juga diketahui memiliki rentang jenis makanan yang sangat variatif. Larva BSF dapat memakan kotoran hewan, daging segar maupun yang sudah membusuk, buah, sampah restoran, sampah dapur selulosa, dan berbagai jenis sampah organik lainnya (Alvarez 2012). Selain itu, keberadaan larva BSF dinilai cukup aman bagi kesehatan manusia, selain dapat mengurangi populasi lalat rumah, juga dapat mereduksi kontaminasi limbah terhadap bakteri patogenik *Escherichia coli* (Newton *et al.* 2005).

Setelah menetas, larva BSF mulai memakan sampah yang diberikan, dan dapat mereduksi sampah hampir 55% berdasarkan berat bersih sampah (Diener 2010). Larva BSF tidak memiliki jam istirahat, namun mereka juga tidak makan sepanjang waktu (Alvarez 2012). Kadar air optimum pada makanan larva BSF adalah antara 60-90% (Diener *et al.* 2011). Pada kondisi kadar air sampah yang terlalu tinggi akan menyebabkan larva keluar dari reaktor pembiakan, mencari tempat yang lebih kering. Pada saat kadar air medianya juga kurang, maka akan mengakibatkan konsumsi makanan yang kurang efisien pula (Alvarez 2012). Suhu media yang optimum berada pada rentang 30-36°C (Popa & Green 2012), demikian pada suhu yang lebih rendah larva BSF tetap dapat bertahan karena adanya asupan panas dari sampah yang dimakannya (Alvarez 2012).

Setelah menetas, larva BSF akan mulai memakan sampah yang diberikan, sampai pada tingkat reduksi hampir 55% berdasarkan berat bersih sampah (Diener 2010). Larva BSF tidak memiliki jam istirahat, namun mereka juga tidak makan sepanjang waktu (Alvarez 2012). Larva BSF umumnya memiliki ciri makan searah horizontal dengan makanannya. Namun terkadang larva BSF akan bergerak secara vertikal untuk mengekstrak nutrient yang terdapat pada lindi yang dihasilkan dari pembusukan sampah makanan yang diberikan.

Ketika larva mencapai tahap dewasa, larva BSF akan mampu mengurai sampah organik dengan sangat cepat dan menekan pertumbuhan bakteri serta mengurangi bau tidak sedap yang ada pada sampah dengan sangat baik (Diener 2010). Selain itu, keuntungan tambahan yang diperoleh dari BSF adalah kemampuannya untuk mengusir lalat rumah yang merupakan vektor penyakit menular yang banyak di negara berkembang (Diener 2010). Proses dekomposisi sampah organik jenis wortel oleh larva BSF disajikan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Proses dekomposisi sampah wortel oleh larva BSF

## 4

### **Mengolah Sampah Padat Organik Rumah Tangga dalam Komposter Bebas Bau**

Umumnya masyarakat beranggapan bahwa mengolah sampah rumah tangga di rumah sendiri akan berakibat timbulnya polusi lain, yaitu polusi bau. Anggapan ini sering muncul tanpa didasari oleh pengalaman, melainkan hanya dugaan. Dugaan tersebut bisa jadi benar adanya apabila sampah yang dimaksud merupakan sampah yang tercampur aduk antara organik dan anorganik dengan kondisi pengelolaan yang sembarangan. Sembarangan yang dimaksud disini adalah kondisi dimana sampah hanya sekedar ditumpuk dalam sebuah bak tanpa tutup, tanpa saluran air lindi, tanpa pelindung hewan pengganggu seperti tikus dan kucing.

Namun demikian, apabila sampah dipilah antara organik dan anorganik dan kemudian bagian organik dikomposkan dalam sebuah komposter skala rumah tangga yang memenuhi syarat sanitasi maka polusi bau tidak akan timbul. Ini didasarkan atas pengalaman penulis yang mengelola sampah organik rumah tangga yang dikonversi menjadi kompos dimana prosesnya berlangsung selama sekitar 2 bulan dalam sebuah komposter skala rumah tangga.

#### **Dimensi dan Konstruksi Komposter Skala Rumah Tangga Bebas Bau**

Bagian konstruksi paling penting dari komposter skala rumah tangga adalah dua (2) buah bak besar komposter berdimensi panjang (P) 70 cm, lebar (L) 60 cm dan tinggi (T) 65 cm serta satu (1) buah bak kecil komposter berdimensi 70 cm (P), 50 cm (L) dan 65 cm (T). Dengan demikian, volume totalnya sebesar 774 liter. Bak komposter dibangun dari pasangan bata merah yang dilapisi plester (mortar) 2 cm plus lapisan semen (aci) setebal  $\pm 3$  mm; tutup bak berbahan dasar kawat kasa dengan ukuran lubang 1 cm untuk mencegah masuknya hewan pengganggu proses pengomposan (tikus dan kucing); saluran drainase air lindi berbahan pipa PVC ( $\emptyset$   $\frac{1}{2}$  inci); struktur atap dari genteng atau bahan transparan *polycarbonate* bergelombang (Solar Tuff) beserta rangka atap dari kayu kaso (kamper Singkil 4/6). Komposter skala rumah tangga ini disajikan dalam Gambar 1.



Gambar 4.1 Komposter skala rumah tangga terlihat dari samping (a) dan dari atas (b)

### **Kegiatan Operasi dan Perawatan Komposter**

Operasi dan perawatan komposter skala rumah tangga antara lain mencakup pengumpanan (pemasukan) sampah organik setiap hari dengan laju relatif konstan menurut kebiasaan orang Indonesia ( $\pm 2$  liter/orang.hari), penghentian pengumpanan pada saat tercapai volume maksimum, pembalikan bahan kompos setengah jadi (opsional; bila perlu) dan pengayakan bahan kompos yang sudah jadi guna memperoleh kompos siap pakai dengan ukuran seragam, kadar air relatif stabil ( $\pm 30\%$  basis basah) dan mengandung unsur hara makro (N, P, K) dan mikro yang diperlukan tanaman.

Kegiatan operasional penting yang menyita waktu relatif banyak adalah pengayakan dan pewadahan kompos hingga siap pakai, yaitu sekitar 2-3 jam per dua bulan. Kompos siap pakai yang dimaksud adalah kompos yang sudah seragam ukurannya, stabil kadar airnya dan sudah berada dalam kemasan (plastik atau karung) berukuran 5-20 kg.

### **Hasil dan Unjuk Kerja Komposter**

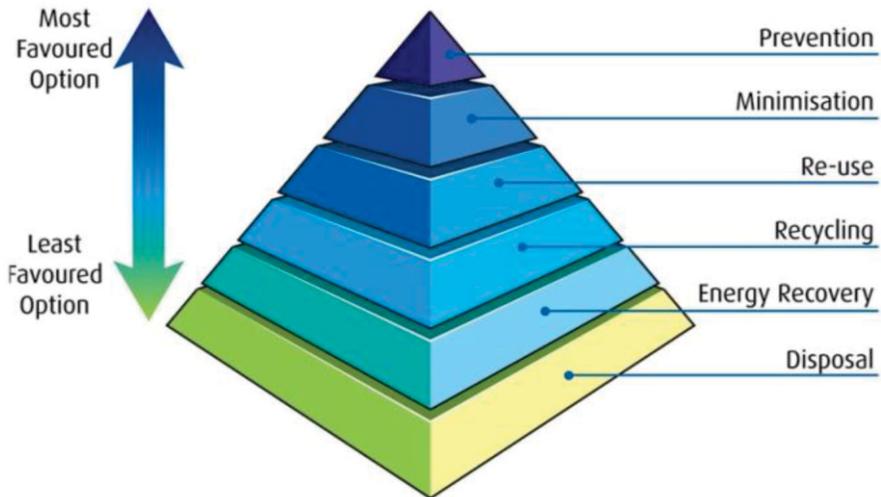
Hasil utama dari operasi dan perawatan komposter skala rumah tangga adalah berupa kegiatan daur ulang sampah padat organik rumah tangga

## Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)

sebesar 70-75% volume, produk kompos siap pakai serta eliminasi transportasi sampah padat dari rumah tangga ke TPS. Kegiatan daur ulang ini merupakan salah satu mata rantai penting aktifitas pengelolaan sampah padat domestik dimana dengan daur ulang tersebut sampah organik yang mempunyai potensi sebagai bahan dasar kompos dapat diproses di lokasi awal (sumber). Dalam terminologi pengelolaan lingkungan kegiatan ini merupakan tindakan reduksi di tempat asal atau *reduction at source*.

Dalam hierarki pengelolaan sampah (Gambar 2), kegiatan ini berada dalam tingkat (level) 2, yaitu derajat kemuliaan ke-2 dalam keseluruhan tingkatan pengelolaan sampah. Dengan cara ini sampah padat tidak akan menjadi sumber polusi bau (Yuwono *et al.* 2004; 2012; 2017).

Hasil lainnya adalah produk kompos siap pakai, yaitu kompos sebagai media tanam berbagai jenis tanaman, baik tanaman hortikultura (sayuran dan tanaman hias), tanaman buah maupun jenis tanaman lain seperti tanaman keras (perkebunan) serta tanaman pangan. Proses penyaringan kompos dan pemanfaatannya pada pot bunga disajikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hierarki pengelolaan sampah



(a)

(b)

Gambar 4.3 Penyaringan kompos (a) dan pot-pot bunga yang menerima kompos hasil biodegradasi sampah (b).

Contoh perhitungan neraca massa timbulan sampah padat (*waste generation*) dan kompos yang dihasilkan dari sebuah rumah tangga berukuran sedang (4 jiwa per keluarga) disajikan dalam Tabel 4.1. Beberapa asumsi harga bisa berubah sesuai daerah dan basis waktu perhitungan. Selain itu, kebiasaan atau perilaku anggota keluarga juga memberi kontribusi terhadap persentase organik dalam total produksi sampah padat.

Tabel 4.1 Neraca massa timbulan sampah dan nilai kompos yang dihasilkan.

| No | Aspek                              | Kuantitas | Satuan   | Keterangan/Ref.           |
|----|------------------------------------|-----------|----------|---------------------------|
| 1. | Jumlah penghuni rumah tangga       | 4         | orang    | -                         |
| 2. | Vol. timbulan sampah padat         | 8,0       | liter/hr | Standar 2 liter/org.hr    |
|    |                                    | 2,0       | kg/hr    | $\rho = 0,25$ kg/liter    |
| 3. | Fraksi organik sampah padat        | 75        | %        | -                         |
| 4. | Waktu proses biodegradasi          | 2         | bulan    | Waktu hingga matang*      |
| 5. | Vol. bak besar                     | 273       | liter    | P=70cm; L=60cm; T=65cm    |
| 6. | Vol. bahan kompos bak besar        | 218       | liter    | 80% vol. bak besar        |
| 7. | Jml. kompos kasar (40 % vol. awal) | 87        | liter    | $\rho = 0,25$ kg/liter    |
|    |                                    | 44        | kg/2 bln | $\rho = 0,5$ kg/liter     |
| 8. | Jml. kompos siap pakai (halus)     | 26        | kg/2 bln | 60% berat kompos kasar    |
| 9. | Nilai total kompos (@Rp. 700/kg)   | 18.000    | Rp/2 bln | Ref.: Survei pasar kompos |

\* Yuwono *et al.* 2013.

Hasil lain yang penting dari kegiatan operasi dan perawatan komposter skala rumah tangga adalah berupa eliminasi transportasi sampah dari rumah menuju TPS maupun TPA. Eliminasi transportasi ini bersifat strategis dan produktif mengingat kondisi TPS saat ini sering menimbulkan kesan negatif bagi masyarakat yang berdomisili di sekitar TPA. Kesan negatif tersebut mencakup:

- Timbulan kebauan dalam udara ambien yang didominasi kesan bau busuk ( $H_2S$  dan  $NH_3$ )
- Terbentuknya vektor penyakit (lalat, nyamuk dan tikus)
- Degradasi nilai estetika visual lansekap di sekitar perumahan karena kehadiran TPS.

Uji unjuk kerja komposter ditujukan terutama untuk menangkis anggapan awal masyarakat awam bahwa komposter akan menimbulkan polusi bau. Uji selama tiga (3) semester dengan jarak responden sebesar satu meter dari sumber menunjukkan bahwa kesan emisi bau yang ditangkap responden berada dalam rentang skala (-)1 hingga (-)3 dalam skala hedonik total (-)10 hingga (+)10. Ini berarti bahwa kesan bau dari sampah dalam komposter sangat rendah dan bahkan hampir tanpa bau. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa kegiatan pengomposan dalam komposter skala rumah tangga tersebut tidak menimbulkan masalah polusi bau.

## 5

### **Hasil Analisis Kompos dari Konversi Limbah Organik Rumah Tangga oleh Larva BSF**

#### **5.1 Pendahuluan**

Pemanfaatan kembali dari limbah padat menjadi energi atau pemulihan material dilakukan berdasarkan hirarki pengelolaan limbah. Salah satunya adalah dengan cara pengomposan. Pengomposan merupakan bentuk pemulihan sumber daya dari limbah padat. Produk dari proses pemulihan ini adalah kompos yang diaplikasikan pada tanah pertanian (Saeed *et al.* 2009). Pengomposan merupakan proses degradasi biologis padatan organik dalam kondisi aerobik melalui aktivitas mikroba yang berbeda, menghasilkan produk yang stabil dan sesuai untuk ditambahkan ke tanah (Insam & de Bertoldi 2007). Selama pengomposan, konversi dan degradasi bahan organik dilakukan oleh komunitas banyak mikroba seperti bakteri, jamur dan aktinomisetes. Namun, komunitas mikroba ini sangat dipengaruhi oleh fase mesofilik dan fase termofilik selama pengomposan dan juga oleh sifat fisik dari bahan awal limbah (Varma *et al.* 2017). Secara keseluruhan, struktur komunitas mikroba dan aktivitas enzimatik memberikan informasi penting untuk pemantauan proses pengomposan dan stabilitas kematangan kompos (Villar *et al.* 2016).

Penggunaan kompos pada tanah dapat memperkaya kandungan mineral tanah untuk mendukung proses penyuburan tanah dan mengikat senyawa lainnya yang dibutuhkan oleh tumbuhan. Beberapa parameter yang dipertimbangkan dalam penerapan kompos pada tanah diantaranya karbon organik (OC), rasio C/N, nitrogen, fosfor (P), dan kalium (K). Menurut Weber *et al.* (2007), penggunaan kompos yang terbuat dari limbah padat perkotaan atau pasar terbukti dapat meningkatkan kandungan mineral tanah menjadi lebih baik dibanding penggunaan pupuk dari proses pengomposan biasa. Kompos limbah padat perkotaan atau pasar dapat meningkatkan porositas tanah, meningkatkan penetrasi air, sirkulasi udara dan tahanan air dalam tanah untuk menjaga kestabilan partikel tanah.

#### **5.2 Analisis Hasil Dekomposisi Sampah Organik**

Salah satu hasil dari dekomposisi sampah organik menggunakan larva BSF adalah bahan stabil seperti kompos yang memiliki manfaat bagi lingkungan. Kompos dapat digunakan sebagai sumber nutrisi bagi tanaman dan sebagai bahan penggembur tanah. Pada penelitian ini, hasil dekomposisi yang diuji

merupakan bahan yang telah diurai oleh larva BSF selama 15 hari dan 30 hari. Sampel kualitas kompos dilakukan pada reaktor berbahan pasangan bata, dan dilengkapi dengan sistem drainase yang baik.

Populasi larva lalat sangat bermanfaat bagi proses pengomposan dalam mendegradasi sampah organik. Hambatan utama yang terkait dengan produksi larva lalat dari limbah organik pada skala besar adalah pengetahuan biologi mengenai larva lalat yang belum memadai. Hal yang diperlukan dalam peningkatan produksi larva adalah untuk menghasilkan telur dalam jumlah besar. Sehingga dibutuhkan solusi untuk meningkatkan kapasitas produksi serta inovasi teknologi dapat meningkatkan kinerja fasilitas biodegradasi dan menurunkan biaya produksi (Cickova *et al.* 2015).

Sampah yang didekomposisi merupakan sampah organik yang bersifat campuran. Mutu hasil dekomposisi dibandingkan dengan standar yang terdapat dalam SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik. Parameter yang diuji berjumlah 13 buah. Parameter tersebut terdiri dari parameter fisika (yaitu suhu, warna, dan temperatur), elemen makro (yaitu nitrogen, karbon, fosfor, rasio C/N, dan kalium), dan elemen mikro (yaitu kobalt dan seng) serta elemen lainnya (yaitu kalsium, magnesium, besi, dan mangan). Hasil pengujian disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil analisis sampah organik terdekomposisi

| Parameter                               | Satuan | Standar*       | Umur Dekomposisi |         |
|---|--------|----------------|------------------|---------|
|   |        |                | 15 hari          | 30 hari |
| Suhu                                    | C      | Suhu air tanah | 27,8             | 28,2    |
| Warna                                   | -      | Hitam          | Hitam            | Hitam   |
| Nitrogen (N)                            | %      | >0,4           | 1,82             | 3,60    |
| Karbon (C)                              | %      | 9,8-32         | 14,62            | 27,58   |
| Fosfor (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) | %      | >0,1           | 1,43             | 0,14    |
| Rasio C/N                               | -      | 10-20          | 8                | 8       |
| Kalium (K <sub>2</sub> O)               | %      | >0,22          | 5,44             | 7,88    |
| Cobalt (Co)                             | ppm    | <34            | 7,9              | 0,9     |
| Seng (Zn)                               | ppm    | <500           | 150              | 132     |
| Kalsium (Ca)                            | %      | <25,5          | 4,58             | 4,24    |
| Magnesium (Mg)                          | %      | <0,6           | 0,51             | 0,24    |
| Besi (Fe)                               | %      | <2,0           | 2,09             | 0,98    |
| Mangan (Mn)                             | %      | <0,1           | 0,218            | 0,018   |

\*BSN 2004

Biokonversi dalam penelitian ini adalah mendaurulang sampah organik yang tersedia dalam jumlah melimpah dengan memanfaatkan larva lalat tentara hitam atau *Black Soldier Fly* (BSF). Berdasarkan Tabel 5.1 dapat dilihat bahwa pada sampel yang berumur 15 hari mutu hasil dekomposisi kurang baik karena parameter rasio C/N, Besi (Fe), dan Mangan (Mn) tidak memenuhi baku mutu menurut SNI 19-7030-2004 (BSN 2004). Pada sampel yang berumur 30 hari mutu hasil dekomposisi lebih baik karena hanya parameter C/N yang tidak memenuhi baku mutu. Dengan demikian, hasil dekomposisi oleh larva BSF dapat dinyatakan sebagai kompos dan relatif baik berfungsi seperti kompos dengan lama proses 30 hari .

Gagasan menggunakan larva lalat untuk pengolahan sampah organik diusulkan hampir 100 tahun yang lalu. Sejak itu, banyak penelitian laboratorium telah menunjukkan bahwa beberapa spesies lalat sangat sesuai untuk biodegradasi limbah organik, seperti lalat tentara hitam (*Black Soldier Fly*, *Hermetia illucens* L.) menjadi serangga yang paling banyak dipelajari. Larva lalat rumah berkembang dengan baik pada kotoran hewan, sedangkan larva lalat tentara hitam menerima variasi bahan organik yang mudah membusuk. Larva lalat tentara hitam dapat digunakan untuk mengurangi massa kotoran hewan, lumpur tinja, sampah kota, sisa makanan, dan limbah pasar, serta residu tanaman.

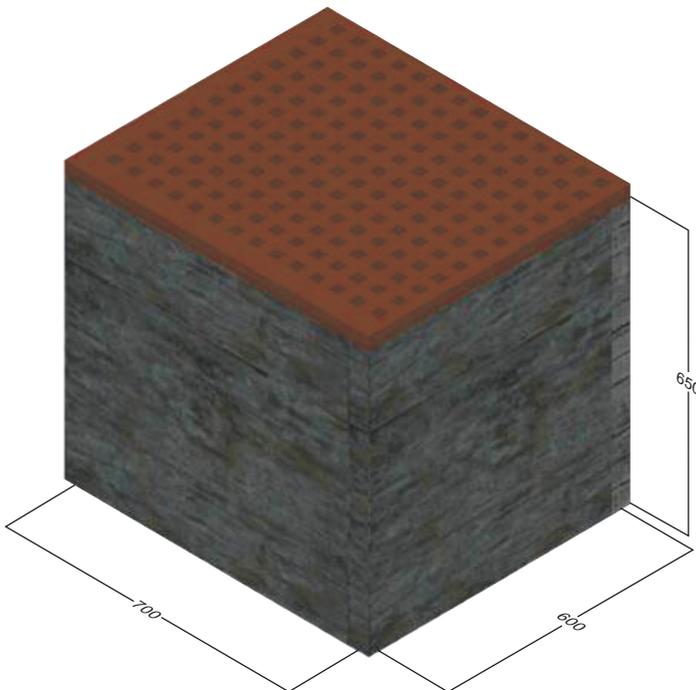
Hasil dari degradasi menggunakan larva lalat tentara hitam menghasilkan kompos yang lebih baik daripada pupuk kotoran hewan atau residu tanaman. Limbah residu dapat menjadi pupuk yang berharga dengan nilai manfaat yang tinggi. Selama biodegradasi suhu substrat meningkat, perubahan pH dari netral menjadi basa, pelepasan amonia meningkat, dan penurunan kelembaban. Beban mikroba beberapa patogen dapat dikurangi secara substansial. Larva dan residu yang dicerna memerlukan perawatan lebih lanjut untuk menghilangkan patogen.

## 6

### Struktur Bak Pengolahan Larva BSF Skala Rumah Tangga

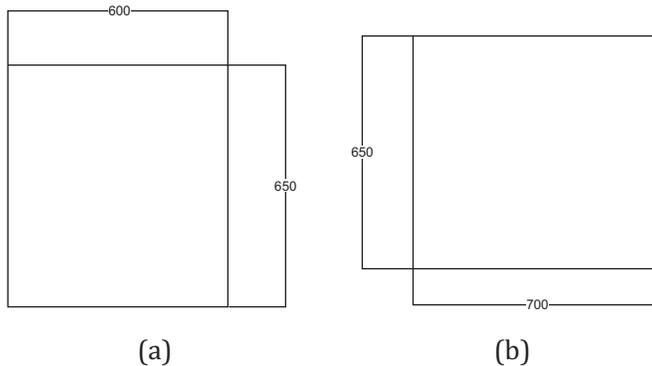
Pengolahan larva BSF tentunya berlangsung pada suatu wadah yang dapat memberikan kondisi optimal bagi pertumbuhan larva. Tidak hanya faktor lingkungan, bahan serta bentuk dari struktur bak kompos juga menjadi pertimbangan bagi kondisi optimal larva. Berdasarkan pengalaman, bak yang terbuat dari pasangan bata+plester memiliki suasana yang lebih sejuk dan lembab bagi perkembangan larva BSF.

Pengolahan sampah organik bagi rumah tangga sudah mulai diterapkan. Bak kompos memiliki struktur yang sederhana. Struktur bak kompos disajikan pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1 Struktur bak kompos sederhana skala rumah tangga (dalam mm)

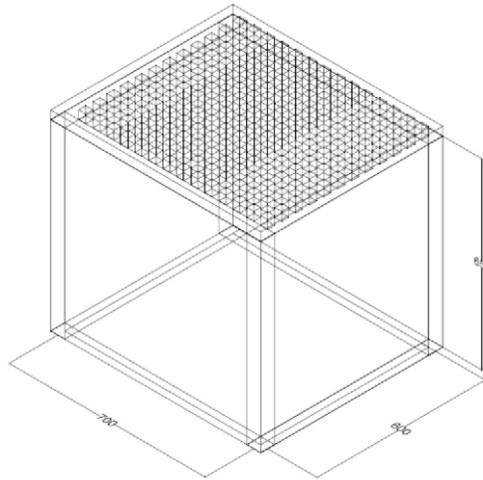
Berdasarkan gambar diatas, bak kompos berbentuk kubus, dengan diberi tutup berbahan kayu pada rangkanya, dan diberi penutup berupa kawat ram agar mencegah hewan pengerat atau hewan lainnya masuk ke dalam bak kompos tersebut. Tampak samping dari bak kompos disajikan pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2 (a) Tampak samping bak kompos; (b) tampak depan bak kompos

Volume bak kompos yaitu  $0.273 \text{ m}^3$ , mampu menampung sampah segar sebanyak 25-30 kg per satu bak. Jika dipakai oleh satu rumah tangga beranggotakan 4 orang, satu bak kompos mampu menampung sampah rumah tangga selama 6 bulan dengan menggunakan metode degradasi sampah dengan larva BSF. Siklus hidup BSF akan berlangsung secara alami tanpa harus adanya treatment pada tiap fase larva, karena tumbuh secara alami. Larva akan terus berkembang biak kemudian menjadi lalat BSF dan menghasilkan telur pada tumpukan sampah tersebut, lalu menetasakan larva, begitu tahap selanjutnya. Tampak piktorial dari bak kompos disajikan pada Gambar 6.3.

## Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)



Gambar 6.3 Piktorial bak kompos

Lantai dasar bak kompos diberi kemiringan sebesar 1-2% agar air lindi dapat mengalir ke saluran pembuangan. Pada bagian bawah lantai bak kompos diberi pipa untuk pengaliran air lindi untuk kemudian dialirkan ke drainase pengeluaran air lindi. Air lindi harus dikeluarkan, jika dibiarkan akan membuat kebauan di sekitar bak kompos. Bak kompos harus dijaga kebersihannya, dan menghindari pengadukan sampah sehingga membuat bau dari sampah keluar ke udara sekitar bak kompos dan menimbulkan ketidaknyamanan.

Struktur bak kompos di bagian atasnya diberi atap pelindung, agar jika hujan terhindar dari air yang berlebihan dan membuat kondisi larva kurang nyaman. Atap juga berfungsi mengurangi paparan sinar matahari yang berlebihan, larva BSF aktif memakan pada kondisi cahaya yang optimum. Hasil kompos yang dihasilkan oleh larva BSF dapat digunakan sebagai nutrisi tanaman bagi rumah tangga. Tampak hasil kompos hasil penguraian larva BSF disajikan pada Gambar 6.4.



Gambar 6.4 Hasil kompos

Hasil maksimal bagi kompos didapatkan setelah menyaring kompos, sehingga didapatkan butiran yang lebih halus dan terbebas dari larva BSF. Kemudian kompos pun siap digunakan untuk tanaman di sekitar rumah. Kompos pada gambar diatas merupakan hasil penguraian larva BSF selama 15 hari dengan media berupa sampah organik.

## Potensi BSF sebagai Sumber Protein

### 7.1 Kadar Protein Larva BSF pada Pakan Sampah Pasar Tradisional

Hasil analisis kimia menunjukkan BSF kaya akan protein dan lemak yang bernilai ekonomi untuk pembuatan pakan ternak (Diener *et al.* 2011). Pada penelitian ini, guna menguji kadar protein larva, seluruh larva diberi pakan yang sama yaitu sampah organik campuran (agregat). Pengujian kadar protein larva dilakukan pada beberapa fase, yaitu fase larva prematur (1-14 hari) yang diwakili oleh larva berumur 9 dan 12 hari. Fase pra-pupa (15-26 hari) yang diwakili oleh larva berumur 16 dan 23 hari. Fase pupa diwakili oleh larva berumur 30 hari. Hasil pengujian kadar protein disajikan pada Tabel 7.1.

Tabel 7.1 Kadar protein larva

| Umur Larva (hari) | 9    | 12   | 16   | 23   | 30   |
|-------------------|------|------|------|------|------|
| Kadar Protein (%) | 34,2 | 36,4 | 29,9 | 30,3 | 32,7 |

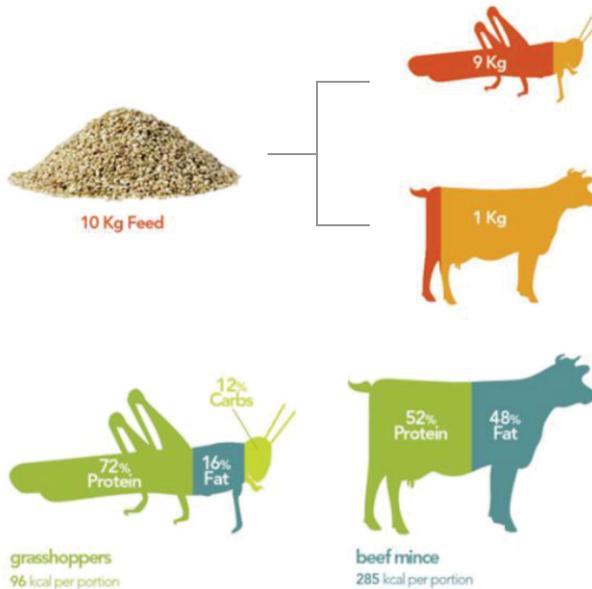
Berdasarkan Tabel 7.1 dapat dilihat bahwa kadar protein larva larva berkisar antara 29,9-36,4%. Kadar protein larva tertinggi terdapat pada fase larva berumur 12 hari. Kadar protein larva terendah terdapat pada larva berumur 16 hari yaitu pada saat fase pra-pupa. Larva berumur 16 hari memiliki kadar protein yang rendah karena berada pada fase pra-pupa. Pada fase pra-pupa, larva sudah mulai berhenti memakan, sehingga larva cenderung memakai cadangan makanan pada tubuhnya. Menurut Diener (2010) kadar protein larva dapat mencapai hingga 40%. Kadar protein larva dapat berubah apabila diberi jenis pakan yang berbeda.

Menurut Fahmi (2015), biokonversi merupakan sebuah proses alami yang melibatkan larva serangga untuk menyerap nutrisi dari limbah organik menjadi biomassa larva serangga. Larva dijadikan sebagai sumber protein hewani dan lemak hewani yang dibutuhkan untuk pakan ikan. Budidaya larva BSF dapat dilakukan dengan menggunakan bahan organik dan berbasis limbah ataupun hasil samping kegiatan agroindustri. Proses ini dikatakan sebagai bentuk degradasi limbah. Hasil degradasi dapat menghasilkan beberapa nilai tambah dengan menjadikannya sebagai pakan ternak (larva), bahan stabil seperti kompos, dan biofuel. Potensi ini membuat pengolahan sampah menggunakan larva BSF memiliki manfaat tinggi.

## 7.2 Kadar Protein BSF sebagai Sumber Pakan Hewan Ternak

Larva BSF memiliki kadar protein yang tinggi, larva BSF mampu memiliki kandungan protein hingga 40%. Sumber pakan bagi hewan ternak saat ini menjadi perhatian penting karena tingginya harga bahan pakan, namun nutrisi yang terkandung lebih minim jika dibandingkan dengan pakan menggunakan larva BSF. Protein pada larva BSF berkisar antara 31,7-47,6%, tergantung pada pajan yang diberikan pada larva BSF.

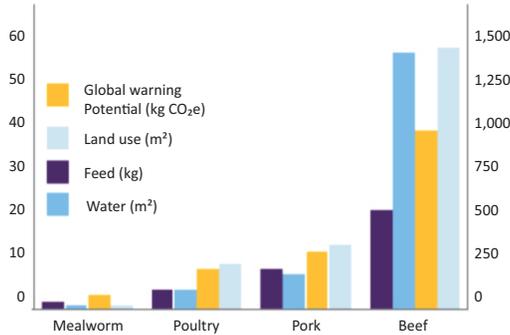
Analisis efisiensi dari penggunaan pakan larva BSF disajikan pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1 Efisiensi penggunaan pakan

Berdasarkan Gambar 7.1 dapat dilihat bahwa serangga sebagai penghasil daging yang efisien. Melalui 10 kg pakan hewan setara dengan 9 kg daging serangga, namun pada sapi hanya menjadi 1 kg daging. Hal ini berarti bahwa serangga lebih efektif dalam mencerna makanan, sehingga pada akhirnya dapat menghasilkan kandungan nutrisi yang lebih besar. Pada serangga, setelah dipanen dapat mengandung 72% protein, sementara pada hewan memamah biak hanya 52%. BSF sebagai serangga memiliki potensi yang lebih baik sebagai pakan hewan. Konversi terhadap analisis beberapa faktor yang dihabiskan selama proses menghasilkan protein pada beberapa jenis hewan disajikan pada Gambar 7.2.

Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)

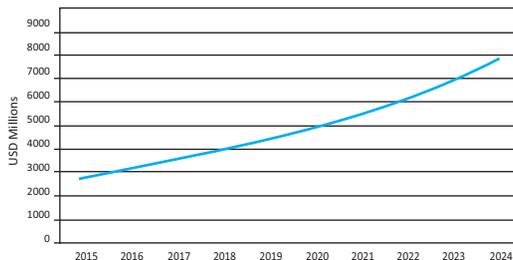


Gambar 7.2 Perbedaan antara konversi protein pada beberapa hewan

Sumber: FAO 2002

Berdasarkan Gambar 7.2, dapat dilihat bahwa produksi protein oleh serangga (termasuk larva BSF) memiliki tingkat potensi pemanasan global, penggunaan lahan, penggunaan pakan, serta penggunaan air yang lebih rendah. Produksi protein berupa daging (sapi, kerbau, domba, dll) memiliki tingkat potensi pemanasan global, penggunaan lahan, penggunaan pakan, serta penggunaan air yang lebih tinggi. Penggunaan pakan dengan larva BSF sangat ramah lingkungan karena menggunakan sumber daya alam yang minim, serta potensi pemanasan global yang cukup rendah dibandingkan dengan hewan lainnya.

Selain menjadi sumber pakan, kandungan kitin pada larva BSF juga cukup tinggi. Menurut Wang dan Shelomi (2017), kandungan kitin terkoreksi pada larva BSF berkisar antara 2-5%. Penggunaan BSF sebagai bahan baku “chitosan” juga sangat prospektif, saat ini terjadi pertumbuhan pasar yang cukup pesat terhadap chitosan dan kitin seperti yang disajikan pada Gambar 7.3.



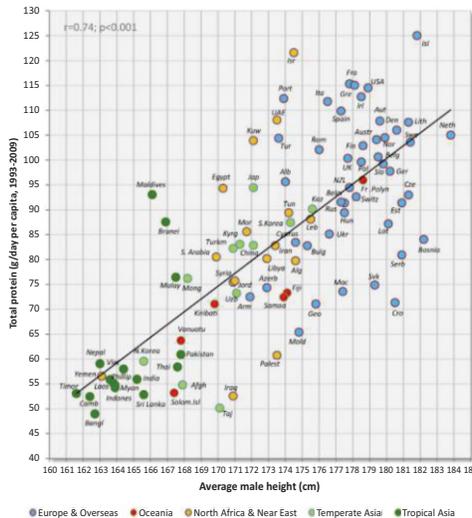
Gambar 7.3 Pertumbuhan pasar terhadap kitin dan chitosan

Sumber: Global market insights

### 7.3 Kadar Protein BSF sebagai Sumber Pangan bagi Manusia

Menurut hasil survei, faktanya bahwa 50% dari penghasilan seseorang di negara maju dihabiskan untuk membeli kebutuhan pangan. Pada negara berkembang, presentase tersebut berkisar antara 10-15%. Problem sosial-ekonomi menjadi latar belakang hal tersebut, karena di negara berkembang khususnya Indonesia terjadi tingkat kemiskinan cenderung tinggi, kesenjangan sosial yang tinggi, dan kapasitas produksi yang cukup rendah. Kebutuhan produk pangan dan pakan impor meningkat karena produksi kebutuhan protein tidak dapat terpenuhi oleh produsen lokal. Faktor penyebab lain dari hal ini adalah tingginya populasi dan pertumbuhan penduduk, dan terkonsentrasi di pulau Jawa. Lebih dari 50% populasi masyarakat Indonesia terinfeksi oleh “*Neglected Tropical Diseases*” (Tan *et al.* 2014). Penyakit tersebut diantaranya adalah askariasis, demam berdarah, chikungunya, dll.

Rendahnya kualitas dari konsumsi pangan masyarakat Indonesia menyebabkan masyarakat mudah terserang penyakit-penyakit tersebut. Konsumsi protein yang rendah merupakan salah satu penyebabnya. Konsumsi protein hewani di negara Eropa adalah 80 gram/kapita/hari, sedangkan konsumsi protein hewani di negara Indonesia hanya 13,5 gram/kapita/hari. Perbandingan tingkat konsumsi protein dengan tinggi badan rata-rata masyarakat di 93 negara di dunia disajikan pada Gambar 7.4.

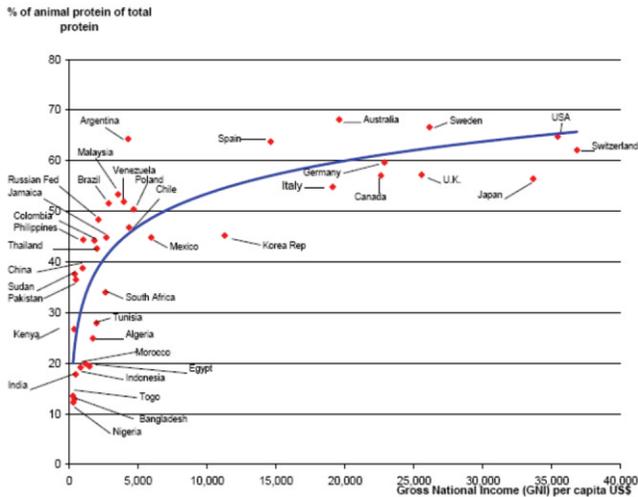


Gambar 7.4 Korelasi antara konsumsi protein harian dengan tinggi badan

Sumber: FAOSTAT 1993 -2009

## Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)

Melalui Gambar 7.4 dapat dilihat bahwa dibanding dengan negara-negara di Eropa, konsumsi protein penduduk Indonesia sangat rendah, dan membuat rata-rata tinggi badan penduduk Indonesia lebih rendah. Fakta ini juga didukung dengan data korelasi antara persen protein hewani terhadap protein total dibanding dengan *Gross National Income* (GNI) per kapita yang disajikan pada Gambar 7.5.



Gambar 7.5 Korelasi antara persen protein hewani terhadap protein total dibanding dengan *Gross National Income* (GNI) per kapita

Sumber: FAO 2013

Pendapatan yang rendah menjadi salah satu faktor penyebab rendahnya konsumsi protein hewani di Indonesia. Masalah ini perlu diselesaikan dengan mengubah perspektif ekonomi dan budaya secara perlahan. Kondisi kesenjangan ekonomi, rendahnya kualitas pangan, serta masalah kesehatan masyarakat tersebut dapat diberantas dengan memproduksi komoditi pangan yang lebih sehat, lebih murah, serta dapat menjadi solusi obat-obatan untuk menyembuhkan penyakit.

Peningkatan kualitas pangan difokuskan untuk memproduksi protein yang lebih murah, lebih baik, serta produksi protein hewani yang berkelanjutan. Alternatif obat-obatan yang dapat menyembuhkan penyakit dapat diselesaikan dengan mencari sumber terbaru dari obat-obatan. Protein hewani bagi manusia saat ini mayoritas diperoleh hanya dari beberapa sumber protein. Hal ini diperkuat dengan data komoditi yang dikonsumsi masyarakat Indonesia yang disajikan pada Tabel 7.2.

Tabel 7.2 Komoditi yang dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia (BPS 2013)

| No.    | Jenis Komoditi     | Persentase konsumsi<br>(2010) (%) |
|--------|--------------------|-----------------------------------|
| 1      | Padi-padian        | 21,76                             |
| 2      | Umbi-umbian        | 0,32                              |
| 3      | Ikan               | 7,63                              |
| 4      | Daging             | 2,55                              |
| 5      | Telur dan susu     | 3,27                              |
| 6      | Sayur-sayuran      | 2,52                              |
| 7      | Kacang-kacangan    | 5,17                              |
| 8      | Buah-buahan        | 0,47                              |
| 9      | Minyak dan lemak   | 0,34                              |
| 10     | Bahan minuman      | 1,05                              |
| 11     | Bumbu-bumbuan      | 0,69                              |
| 12     | Konsumsi lainnya   | 1,21                              |
| 13     | Makanan jadi       | 8,03                              |
| 14     | Minuman beralkohol | -                                 |
| 15     | Tembakau dan sirih | 0                                 |
| Jumlah |                    | 55,01                             |

Berdasarkan Tabel 7.2, didapatkan bahwa protein hewani pada konsumsi penduduk Indonesia hanya meliputi ikan, daging, serta telur dan susu. Maka dari itu kita perlu untuk memberantas kekurangan protein dengan mensubstitusi bahan pangan yang mengandung protein. Larva BSF memiliki kadar protein yang tinggi. Jenis-jenis protein yang dihasilkan diantaranya seperti yang disajikan pada Tabel 7.3.

Tabel 7.3 Turunan protein larva BSF berdasarkan kandungan asam amino

| Jenis asam amino         | Basis protein (%) |
|--------------------------|-------------------|
| Asam aspartat+Aspargin   | 10,5              |
| Treonin                  | 4,2               |
| Serin                    | 4,6               |
| Asam Glutamat + Glutamin | 11,5              |
| Glisin                   | 6,6               |
| Valin                    | 3,8               |
| Isoleusin                | 4,6               |
| Leusin                   | 8,6               |
| Tirosin                  | 7,1               |
| Fenilalanin              | 3,9               |
| Histidin                 | 3,2               |
| Lisin                    | 6,5               |
| Arganin                  | 5,2               |
| Prolin                   | 7,1               |

## Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)

Berdasarkan penelitian Wang dan Shelomi (2017), persentase kandungan protein terbesar pada larva BSF yaitu 47,6% yaitu dengan pakan silase darah+gabah gandum. Persentase kandungan lemak terbesar pada larva BSF yaitu 41,7% dengan pakan limbah buah-buahan. Larva BSF sangat layak menjadi bahan pangan manusia, selain mengandung banyak protein, serangga ini juga aman terhadap kontaminan mikroba maupun zat kimiawi, juga terhadap logam berat.

Pengembangan larva BSF dalam peternakan juga merupakan hal yang aman, karena BSF bukanlah vektor penyakit maupun bakteri. Menurut Marilyn *et al.* (2004), larva BSF mampu mereduksi kandungan *Escherichia coli* dan *Salmonella enterica Serovar Enteritidis* pada kotoran ayam. Sehingga konsumsi larva BSF dapat menjadi alternatif penambahan protein bagi tubuh manusia dengan sistem pengolahan yang baik dan layak.

Beberapa contoh yang sudah di mulai di Kota Sumedang adalah mengolahnya menjadi keripik larva BSF dan juga abon larva BSF. Tampak dari produk tersebut disajikan pada Gambar 7.6.



Gambar 7.6 (a) Produk olahan larva BSF; (b) Dikonsumsi anak-anak

Produk ini masih perlu pengembangan, namun sejauh ini telah dicoba pada beberapa panelis termasuk anak-anak, bahwa cita rasa dari olahan larva BSF dapat diterima oleh indra perasa manusia. Produk tersebut masih perlu diteliti lebih lanjut mengenai aspek lainnya seperti strategi bisnis, pemasaran, pengemasan, bentuk produk yang lebih menarik.

## 8

### **Reduksi Sampah oleh Larva *Black Soldier Fly***

#### **8.1 Pendahuluan**

Pemanfaatan sampah merupakan solusi untuk mengurangi timbunan sampah dengan biaya yang minimum dan dapat dikelola oleh sektor formal maupun informal. Sampah saat ini dipandang sebagai barang sisa dengan nilai ekonomi yang rendah. Hal ini disebabkan oleh keuntungan yang didapatkan dari pengelolaan sampah organik sangat minim (Diener *et al.* 2011). Lalat BSF memiliki habitat asli di Amerika Latin, di Indonesia habitat asli dari Larva BSF yaitu di daerah Maluku dan juga Papua (Alvarez 2012). Guna mengatasi masalah tersebut, perlu dilakukan suatu upaya pemanfaatan sampah organik yang juga memiliki potensi ekonomi tinggi. Salah satu solusi dari hal ini adalah pemanfaatan larva *Black Soldier Fly* (BSF) sebagai pengurai materi organik. BSF telah diteliti dapat mendegradasi sampah organik dengan memanfaatkan larvanya yang mengekstrak energi dan nutrien dari sampah sayuran, sisa makanan, bangkai hewan, dan kotoran sebagai bahan makanannya (Popa & Green 2012).

Larva BSF mudah untuk dikembangbiakkan dengan sifatnya yang resisten terhadap musim, meskipun larva BSF lebih aktif pada kondisi yang hangat, sehingga cocok untuk iklim Indonesia. Menurut Guerero *et al.* (2013), larva BSF memiliki kemampuan dekomposisi yang terbaik dibanding dengan organisme maupun mikroorganisme lainnya. Pemanfaatan Larva BSF sebagai pengurai sampah organik telah diteliti oleh beberapa peneliti.

#### **8.2 Biokonversi Sampah Organik Menggunakan Larva *Black Soldier Fly* pada Beberapa Jenis Sampah**

##### **8.2.1 Jenis Sampah Sayuran, Buah-buahan dan Ikan (Saragi dan Bagastyo 2015)**

Pengurangan limbah padat organik dinyatakan dalam berat kering dengan membandingkan antar kondisi awal dengan kondisi akhir pada setiap reaktor. Reduksi sampah tertinggi terdapat pada sampah sayuran dengan laju pemberian umpan sebesar 20 mg/larva.day yaitu sebesar 63,90%. Reduksi sampah terendah terdapat pada sampah ikan dengan laju pengumpanan sebesar 60 mg/larva.day yaitu sebesar 18,87%. Reduksi beberapa jenis sampah oleh larva BSF disajikan pada Tabel 8.1.

Tabel 8.1 Reduksi sampah oleh larva BSF

| Jenis sampah dan laju pengumpanan          | Reduksi sampah (%) |
|--|--------------------|
| Sayuran : campuran buah (20 mg/larva.hari) | 63,90              |
| Sayuran : campuran buah (40 mg/larva.hari) | 49,07              |
| Sayuran : campuran buah (60 mg/larva.hari) | 42,75              |
| Sayuran: buah: ikan (20 mg/larva.hari)     | 55,90              |
| Sayuran: buah: ikan (40 mg/larva.hari)     | 49,82              |
| Sayuran: buah: ikan (60 mg/larva.hari)     | 40,48              |
| Campuran ikan (20 mg/larva.hari)           | 54,24              |
| Campuran ikan (40 mg/larva.hari)           | 44,35              |
| Campuran ikan (60 mg/larva.hari)           | 18,87              |

Laju pengumpanan sebesar 60 mg/larva.hari pada setiap komposisi sampah menghasilkan pengurangan sampah yang rendah. Kondisi ini terjadi karena kelebihan sampah pada saat pengumpanan, memiliki kadar air yang tinggi sehingga membuat kondisi anaerobik pada reaktor. Proses dekomposisi sampah organik pada kondisi anaerobik memproduksi  $\text{NH}_3$  dan  $\text{CH}_4$  yang menghambat proses dekomposisi oleh larva BSF. Berdasarkan perhitungan reduksi sampah pada Tabel 8.1, dapat disimpulkan bahwa porsi pemberian umpan pada larva tidak berkorelasi dengan kebutuhan larva. Laju pengumpanan lebih penting untuk dihitung dibandingkan dengan jumlah umpan yang diberikan pada larva dan jumlah larva yang dibutuhkan untuk mengurangi sampah.

### 8.2.2 Jenis Sampah Daun Singkong (Darmawan *et al.* 2017)

Pada penelitian ini digunakan telur larva BSF dan limbah daun singkong yang diambil dari beberapa restoran dalam kondisi sedikit limbah dan tidak tercampur dengan jenis sisa makanan lainnya. Variasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi komposisi pakan feeding rate (laju pengumpanan) dari limbah daun singkong dengan variasi 100;150; dan 200 mg/larva.hari. Nilai reduksi sampah daun singkong oleh larva BSF disajikan pada Tabel 8.2.

Tabel 8.2 Reduksi sampah daun singkong oleh larva BSF

| Jenis sampah dan laju pengumpanan | Reduksi sampah (%) |
|-----------------------------------|--------------------|
| Daun singkong (100 mg/larva.hari) | 51,88              |
| Daun singkong (150 mg/larva.hari) | 50,50              |
| Daun singkong (200 mg/larva.hari) | 47,45              |

Tabel 8.2 menjelaskan bahwa jumlah konsumsi pakan terbanyak terjadi pada pakan 100 mg/larva.hari dengan persentase reduksi sampah sebesar 51,88%. Jumlah pakan yang diberikan cukup rendah sehingga efisiensi larva dalam memakan limbah pakan lebih besar. Semakin banyak jumlah pakan, maka efisiensi konsumsi pakan sangat rendah, begitu juga sebaliknya. Limbah yang berjumlah sedikit memiliki waktu reduksi yang lebih singkat. Efisiensi konsumsi pakan besar dapat mengurangi terjadinya pembusukan limbah.

### 8.2.3 Jenis Sampah Organik Domestik (Sipayung 2015)

Menentukan efektivitas pemanfaatan larva BSF dalam mereduksi sampah makanan dapat dilihat dari besarnya persentase reduksi sampah yang berhasil dilakukan. Persentase reduksi sampah dihitung berdasarkan perbandingan berat akhir residu hasil dekomposisi dengan berat total sampel yang ditambahkan (Diener 2010). Laju pengumpanan yang diberikan pada penelitian yaitu 40 mg/larva.hari. Persentase reduksi terbesar dicapai untuk sampel sampah kantin dengan frekuensi feeding sekali dalam sehari sebesar 65%. Persentase reduksi paling rendah diperoleh pada sampel mentimun yaitu 52% untuk frekuensi feeding sekali sehari. Nilai reduksi sampah yang dihasilkan dari beberapa jenis sampah organik domestik disajikan pada Tabel 8.3.

Tabel 8.3 Nilai reduksi sampah yang dihasilkan dari beberapa jenis sampah organik domestik

| Jenis sampah dan frekuensi pengumpanan | Reduksi sampah (%) |
|--|--------------------|
| Pakan ayam (frekuensi 1 x 3)           | 65                 |
| Pakan ayam (frekuensi 1 x 1)           | 63                 |
| Pisang (frekuensi 1 x 3)               | 52                 |
| Pisang (frekuensi 1 x 1)               | 61                 |
| Sampah kantin (frekuensi 1 x 3)        | 54                 |
| Sampah kantin (frekuensi 1 x 1)        | 65                 |
| Mentimun (frekuensi 1 x 3)             | 54                 |
| Mentimun (frekuensi 1 x 1)             | 52                 |

Berdasarkan Tabel 8.3 ketiga jenis sampel menghasilkan persentase reduksi yang cukup baik yaitu mencapai lebih dari 50% untuk setiap jenis sampah. Melalui beberapa penelitian yang telah dilakukan, rata-rata persentase reduksi yang berhasil dicapai berkisar pada 50%. Seperti penelitian Newton *et al.* (2005) melalui percobaan terhadap kotoran sapi sebesar 56%, Kroes (2012) sebesar 50% untuk kotoran manusia, dan Sheppard *et al.* (1994) sebesar minimal 50% untuk beberapa jenis kotoran.

Berdasarkan frekuensi feeding-nya, dua dari tiga jenis sampah yang diujikan menunjukkan menghasilkan persentase reduksi yang lebih baik dibanding feeding dengan frekuensi sekali dalam 3 (tiga) hari, yaitu mencapai 65%. Selain berdasarkan jenis makanan yang diberikan, porsi makanan turut berpengaruh terhadap persentase reduksi yang diperoleh (Kroes 2012). Berdasarkan persentase residu yang diperoleh, dapat ditentukan bahwa porsi makanan yang diberikan yaitu 40 mg/larva.hari masih tidak sesuai dengan kebutuhan larva.

#### 8.2.4 Jenis Sampah Kotoran Hewan (Diener *et al.* 2011)

Jenis sampah yang dihasilkan pada skala rumah tangga, 80% terdiri dari fraksi organik berupa sampah pasar yang tidak dapat didaur ulang. Sampah organik perkotaan yang dihasilkan salah satunya berupa kotoran hewan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan larva BSF dalam mencerna dan mendegradasi pada skala menengah di negara yang memiliki pendapatan rendah hingga menengah. Penelitian dilakukan di Costa Rica dengan menggunakan bak dekomposisi berukuran 30 x 8 m. Persen reduksi dari beberapa jenis sampah kotoran hewan yang diteliti disajikan pada Tabel 8.4.

Tabel 8.4 Nilai reduksi sampah

| Jenis sampah dan total pakan yang diberikan | Reduksi sampah (%) |
|---|--------------------|
| Kotoran babi (151 kg (berat kering))        | ~39                |
| Kotoran ayam (68 kg (berat basah))          | ~50                |

Tiga faktor sangat mempengaruhi hasil kapasitas reduksi limbah oleh larva yaitu kekurangan telur yang subur karena adanya kontaminasi zat seng, kematian larva yang tinggi karena berbeda dengan lingkungan di larveros (konsentrasi seng, kondisi anaerobik, dan akses terbatas ke makanan. Kondisi kelangsungan hidup individu terancam punah karena beberapa kondisi misalnya suhu tinggi, kondisi beracun, pada kondisi tersebut larva mencoba meninggalkan sumber umpan. Sangat penting untuk menentukan faktor pemicu penghentian asupan makanan atau migrasi larva yang belum dewasa.

Desain dan operasi fasilitas harus sesuai dengan persyaratan yang ada. Sifat produk limbah dan ketersediaan tenaga kerja serta kinerja mesin sangat mempengaruhi pembangunan fasilitas. Namun, rekomendasi-rekomendasi berikut umumnya berlaku yaitu keseimbangan persediaan makanan yang teratur sehingga mencegah bau yang buruk dan menjamin pemberian makan yang konsisten dan efisien, sistem drainase diperlukan saat bekerja

dengan bahan basah (limbah rumah tangga, kotoran babi) atau dalam iklim yang lembab dan penggunaan alat pembantu pemanenan yang terbukti memiliki nilai pengembangan yang besar.

Berdasarkan kondisi lingkungan penelitian, setidaknya 15 kg sampah organik kota yang segar dapat ditambahkan setiap hari ke suatu daerah dari 1 m<sup>2</sup> diduga terkontaminasi seng. Bahan sisa dalam larveros mengandung konsentrasi seng rata-rata 4.120 mg/kg massa kering (kisaran: 1.550–8.810 mg/kg) dan diasumsikan bahwa proses korosif dan pencampuran mekanis kegiatan disukai pelepasan seng ke dalam sisa material dalam besaran melebihi harapan kami. Ada tidak ada literatur yang menjelaskan kekurangan fekunditas terkait seng di terterrial dipterans, bagaimanapun, Beyer & Anderson menemukan bahwa konsentrasi seng dalam kotoran tanah melebihi 1.600 mg/kg menyebabkan rentang hidup berkurang, jumlah keturunan dan tingkat kelangsungan hidup keturunan kutu kayu, *Porcellio scaber* (Isopoda: Porcellionidae). Jika berlaku untuk organisme Diptera pada umumnya dan *H. ilucens* khususnya, kontaminasi seng menyebabkan hasil telur yang rendah dari koloni. Pada kondisi aktual, produksi jumlah larva yang berkurang kemungkinan dikaitkan dengan penambahan konsentrasi seng.

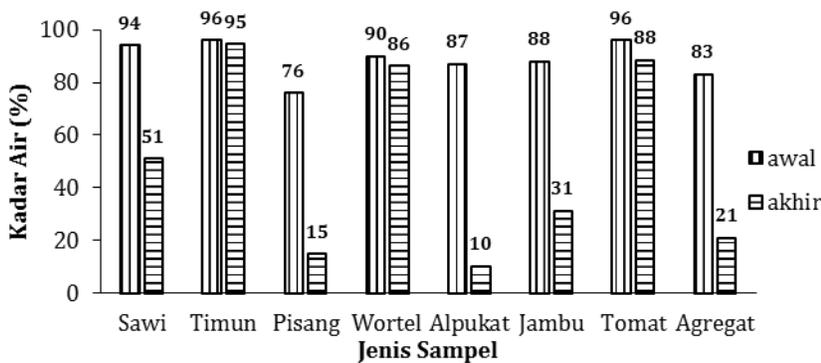
## Karakteristik Dekomposisi Sampah Organik Pasar Tradisional Menggunakan Larva *Black Soldier Fly*

### 9.1 Pendahuluan

BSF telah diteliti dapat mendegradasi sampah organik dengan memanfaatkan larvanya yang mengekstrak energi dan nutrisi dari sampah sayuran, sisa makanan, bangkai hewan, dan kotoran sebagai bahan makanannya (Popa & Green 2012). Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh karakteristik dekomposisi sampah organik pasar tradisional yang terdiri dari persen reduksi, *waste reduction index* (WRI), *fresh matter consumption rate* (FMCRC), persen *dry matter reduction* (DMR), *efficiency of consumption of digested feed* (ECD), perubahan berat larva, dan *survival rate*. Sampel sampah organik *biodegradable* yang digunakan ada 8 jenis, yaitu sampah sawi, sampah timun, sampah pisang, sampah wortel, sampah alpukat, sampah jambu, sampah tomat, dan sampah agregat (campuran). Sampel tidak diberi perlakuan apapun agar sesuai dengan kondisi pengolahan sebenarnya di pasar pada umumnya. Sampah dipisahkan berdasarkan jenisnya sejak pengambilan sampel awal di pasar.

### 9.2 Pengukuran pH dan Kadar Air pada Kondisi Awal dan Akhir

Penentuan kadar air sampah di awal percobaan dilakukan dengan pemanasan pada suhu 105°C selama 24 jam. Kadar air optimum yang disarankan adalah sebesar 60-90% (Diener *et al.* 2011). Hasil pengukuran kadar air disajikan pada Gambar 9.1.

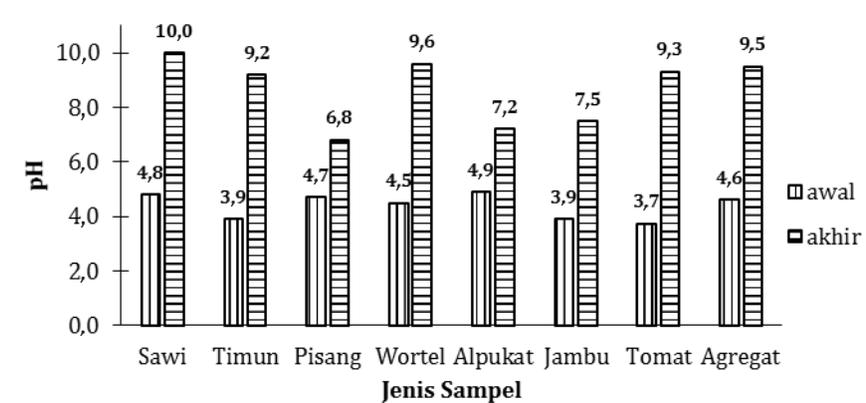


Gambar 9.1 Kadar air sampel sampah organik

Melalui Gambar 9.1 didapatkan bahwa rata-rata kadar air dari seluruh sampel adalah 89,5%. Uji kadar air awal menunjukkan bahwa sampel berada pada kisaran 76-96%, dengan persen kadar air terendah terdapat pada sampel pisang dan persen kadar air tertinggi terdapat pada sampel tomat dan timun. Sampah yang tidak sesuai dengan kadar air optimal bagi pertumbuhan larva adalah sampel sawi, sampah timun, dan sampah tomat. Sampel sampah diberikan pada periode pemberian makanan sekali selama 15 hari. Berat kering rata-rata porsi makanan yang diberikan pada larva yaitu seragam pada jumlah 40 mg/larva/hari.

Berdasarkan data persentase kadar air, dapat ditentukan kebutuhan masing-masing sampah berdasarkan perhitungan pada Lampiran A. Larva yang digunakan berjumlah 200 larva per sampel. Porsi disiapkan untuk kebutuhan selama waktu pemeliharaan (15 hari) berdasarkan kebutuhan frekuensi pemberian sampah organik yaitu sekali dalam 15 hari dengan tiga kali replikasi.

Pengukuran pH dan kadar air sampah di akhir penelitian berfungsi untuk mengetahui kondisi akhir sampel sampah. Berdasarkan Gambar X dapat dilihat bahwa kadar air secara keseluruhan mengalami penurunan. Pada sampel timun, penurunan kadar air tidak terlalu signifikan karena adanya air lindi dari sampah yang tergenang, hal ini juga terjadi pada sampel tomat. Sampah wortel juga mengalami penurunan kadar air yang tidak signifikan, karena karakter sampah wortel yang cukup basah di akhir pengamatan. Hasil pengukuran pH awal dan akhir pada sampel disajikan pada Gambar 9.2.



Gambar 9.2 Nilai pH sampel sebelum dan sesudah proses dekomposisi

Berdasarkan Gambar 9.2 dapat dilihat bahwa nilai pH pada sampel berkisar antara 3,7-4,9. Nilai pH tertinggi terdapat pada sampel alpukat yaitu 4,9. Nilai pH terendah terdapat pada sampel tomat yaitu 3,7. Pada kondisi pH demikian, masih memungkinkan untuk tumbuhnya bakteri dan jamur sehingga proses degradasi oleh mikroorganismenya juga dapat berlangsung (Tchobanoglous & Kreith 2002). Jamur pada sampah tumbuh optimum pada pH 5,6, namun tetap dapat bertahan pada pH 2,0-9,0 (Tchobanoglous & Kreith 2002). Larva BSF memiliki rentang toleransi pH yang cukup besar, sehingga larva BSF mampu hidup pada kondisi lingkungan yang ekstrim (Suciati & Faruq 2017).

Melalui Gambar X dapat dilihat bahwa nilai pH akhir dari seluruh sampel mengalami peningkatan. Kondisi sampel di akhir penelitian memiliki kondisi yang lebih basa. Nilai pH tertinggi berturut-turut terdapat pada sampel sampah sawi, agregat, dan tomat. Tingginya aktivitas mikroorganismenya di dalam sampah dapat mengakibatkan peningkatan dan penurunan nilai pH (Gaudy & Gaudy 1980). Kemampuan sebagian besar mikroorganismenya hidup dalam kondisi anaerob, memanfaatkan energi yang berasal dari proses fermentasi senyawa organik. Penggunaan kation seperti ion amonium dari  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  mengakibatkan peningkatan nilai pH. Adanya kandungan air di dalam sampah yang diujikan menciptakan reaksi antara  $\text{NH}_3$  dengan  $\text{H}_2\text{O}$ .

### 9.3 Kondisi Udara di Lokasi Penelitian

Pengukuran suhu dan kelembaban relatif udara lokasi penelitian dilakukan dengan menggunakan termometer bola basah dan bola kering. Letak penyusunan bak dekomposisi disajikan pada Gambar 9.3.



Gambar 9.3 Tata letak penyusunan bak dekomposisi

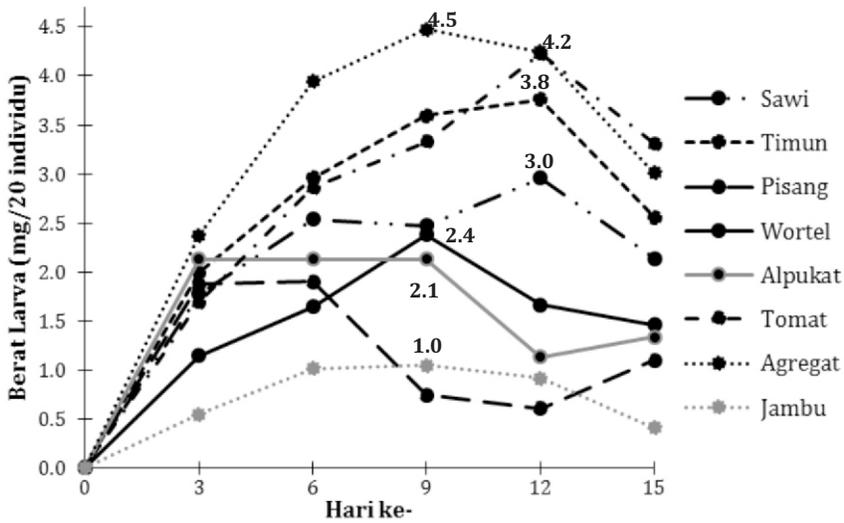
Prinsip kerja termometer bola basah dan bola kering yaitu suhu dicatat secara manual selama 30 menit dengan 3 kali pengukuran dalam selang 10 menit. Data suhu kemudian di rata-rata dan didapatkan nilai kelembaban relatif udara pada waktu tertentu dengan menggunakan grafik psikometri. Pengukuran dilakukan selama 15 hari pada waktu pagi hari dan siang hari selama penelitian berlangsung. Berdasarkan hasil pengamatan suhu dan kelembaban relatif udara di lokasi penelitian, diperoleh suhu rata-rata sebesar 30°C, dengan suhu maksimum sebesar 36,5°C dan suhu minimum sebesar 23,2°C. Kelembaban relatif udara rata-rata pada lokasi penelitian adalah sebesar 74,6%. Hasil pengukuran menunjukkan kondisi lokasi pembiakan yaitu Rumah Kompos Margajaya merupakan lokasi yang cukup baik untuk pembiakan larva BSF karena masih mendekati suhu optimum pertumbuhan larva, yaitu antara 30°C-36°C (Popa & Green 2012) dengan kelembaban relatif udara optimum 60-70% (Holmes *et al.* 2012). Waktu metamorfosis yang dibutuhkan dalam satu siklus adalah ±30 hari (Popa dan Green 2012). Larva aktif memakan yaitu pada umur 14-15 hari (Diener *et al.* 2011).

Pertumbuhan yang baik pada larva BSF juga dapat dijadikan sebagai indikasi mutu proses degradasi sampah yang dilakukan oleh larva yang menjadikan sampah organik sebagai sumber nutrisinya. suhu yang konstan dan kelembaban relatif udara yang diperoleh berpengaruh sangat baik pada pertumbuhan larva. Semakin konstan suhu dan kelembaban relatif udara, maka pertumbuhan larva akan cenderung konstan juga (Holmes *et al.* 2012). Hal tersebut karena pada fase pertumbuhannya, larva sudah lebih beradaptasi sehingga pertumbuhannya berlangsung dengan baik.

#### **9.4 Perubahan Berat Larva**

Pada tahap pra-pupa hingga menjadi lalat, BSF akan berhenti makan dan memanfaatkan cadangan lemak di tubuhnya sebagai sumber energi (Diener *et al.* 2011). Hasil pengukuran perubahan berat larva disajikan pada Gambar 9.4.

Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)



Gambar 9.4 Perubahan berat larva

Pada fase pra-pupa, BSF cenderung mencari tempat yang lebih kering dan dengan pencahayaan yang kurang (Diener *et al.* 2011; Alvarez 2012). Berdasarkan hal ini, setelah berubah menjadi pra-pupa, kemudian dikeluarkan dari dalam reaktor yang bersifat basah dan lembab. Berdasarkan hasil pengukuran, dapat dilihat bahwa perubahan berat larva terbaik terjadi pada sampel agregat yang dapat mencapai berat larva sebesar 4,5 gram. Penyusutan berat larva terjadi apabila larva memasuki fase pra-pupa. Pada hari ke-9 terlihat pada sampel pisang (Gambar 9.5), larva berubah menjadi pra-pupa lebih banyak dari sampel lainnya, karena memiliki kadar air yang cukup rendah yaitu sebesar 76%.



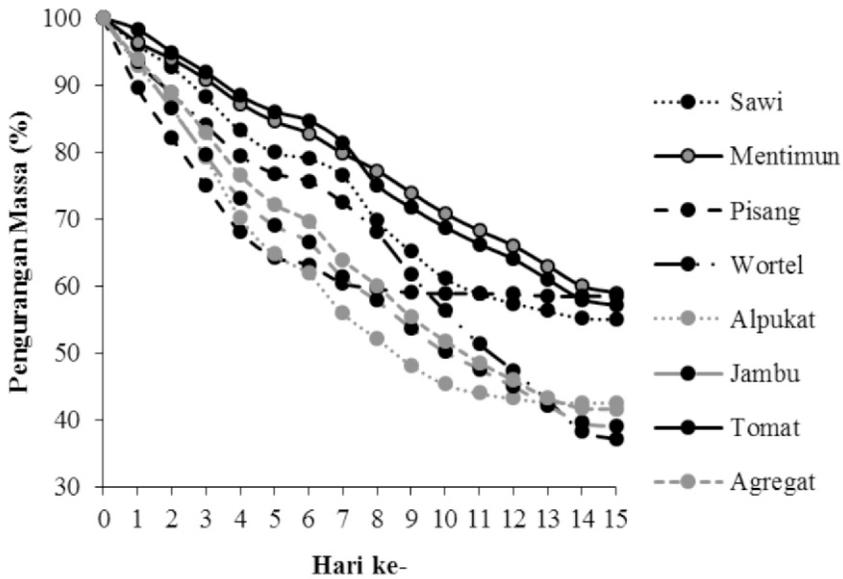
Gambar 9.5 Fase pra-pupa pada sampel pisang

Pembentukan pra-pupa yang lebih cepat membuat berat larva menyusut karena pada saat fase tersebut larva tidak makan lagi dan menghabiskan cadangan makanan yang ada di tubuhnya (Diener *et al.* 2011). Pada umumnya, pembentukan pra-pupa terjadi pada umur 15-22 hari. Kadar air dalam sampah agregat memiliki kondisi yang baik bagi pertumbuhan larva yaitu dengan persen kadar air 89%.

## 9.5 Dekomposisi oleh Larva BSF

### 9.5.1 Laju Dekomposisi

Selama proses dekomposisi terdapat aliran *input* dan *output* bahan. Input merupakan bahan yang masuk ke dalam proses dekomposisi, sedangkan output adalah bahan yang keluar dari proses dekomposisi (Sugiharto *et al.* 2016). Pengurangan sampah organik yang terjadi pada setiap sampel memiliki persentase yang berbeda berdasarkan kemampuan larva mengonsumsi limbah. Umumnya larva lebih menyukai limbah yang bersifat lunak yaitu apa saja yang telah dikonsumsi oleh manusia, seperti sisa makanan, sampah, makanan yang sudah terfermentasi, sayuran, buah buahan, daging bahkan tulang (lunak), dan bangkai hewan. Limbah yang bersifat lunak lebih mudah dikonsumsi oleh larva BSF (Suciati & Faruq 2017). Laju dekomposisi diukur dari persen pengurangan massa pada seluruh sampel seperti disajikan pada Gambar 9.6.



Gambar 9.6 Laju dekomposisi sampah oleh larva BSF

Berdasarkan Gambar 9.6, pengurangan limbah paling efektif terdapat pada limbah wortel, dengan menyisakan 37% limbah dari berat awal sampah wortel yang diberikan. Pengurangan limbah kurang efektif pada sampel sampah timun dengan menyisakan 59% limbah dari berat awal, atau hanya mendekomposisi sampah organik sebanyak 41%. Hal ini disebabkan karena sampah timun memiliki kadar air yang cukup tinggi yaitu sebesar 96%, sedangkan wortel memiliki kadar air 90% masih pada rentang kadar air optimum pertumbuhan larva. Kadar air yang tinggi menyebabkan larva BSF tidak dapat bekerja dengan baik akibat genangan air yang terdapat pada reaktor pengamatan.

### 9.5.2 Karakteristik Dekomposisi Sampah Organik

Karakter dekomposisi merupakan faktor penting pada pengolahan sampah organik oleh larva BSF. Identifikasi karakter dekomposisi sampah organik oleh larva BSF ditentukan oleh beberapa parameter. Parameter tersebut terdiri dari persen reduksi, WRI, FMCR, persen DMR, DMCR, ECD, dan *survival rate* dari masing-masing sampel yang telah diamati selama 15 hari pengamatan dengan pengulangan sebanyak 4 kali. Nilai parameter karakteristik dekomposisi sampah organik oleh larva BSF disajikan pada Tabel 9.1.

Tabel 9.1 Nilai parameter karakteristik dekomposisi sampah

| Parameter                   | Jenis Sampel |       |        |        |         |       |       |     |
|-----------------------------|--------------|-------|--------|--------|---------|-------|-------|-----|
|                             | Sawi         | Timun | Pisang | Wortel | Alpukat | Jambu | Tomat | Agg |
| Reduksi (%)                 | 45           | 41    | 42     | 63     | 57      | 61    | 43    | 58  |
| WRI (%/hari)                | 3,0          | 2,7   | 2,8    | 4,2    | 3,8     | 4,1   | 2,9   | 3,9 |
| FMCR<br>(mg/larva/hari)     | 26           | 24    | 67     | 30     | 53      | 54    | 21    | 50  |
| DMR (%)                     | 88           | 89    | 53     | 85     | 38      | 49    | 74    | 88  |
| DMCR<br>(mg/larva/hari)     | 23           | 21    | 37     | 26     | 20      | 26    | 15    | 44  |
| ECD (%)                     | 9            | 8     | 5      | 6      | 5       | 3     | 10    | 11  |
| <i>Survival Rate</i><br>(%) | 36           | 15    | 100    | 53     | 100     | 48    | 41    | 37  |

WRI menunjukkan kemampuan larva BSF dalam mengonsumsi sampah organik dengan mempertimbangkan waktu atau periode pemberiannya. Nilai WRI yang tinggi memberi makna kemampuan larva dalam mereduksi sampah organik yang tinggi pula (Diener *et al.* 2010). Nilai *fresh matter consumption rate* (FMCR) menyatakan berat total makanan yang dapat dikonsumsi per larva per hari dalam fraksi segar (basah). Tingkat kelulusan hidup (*survival rate*) adalah perbandingan antara jumlah larva yang mampu bertahan hingga akhir pengamatan dan jumlah awal larva (dalam satuan %). Nilai ini menyatakan tingkat kenyamanan atau kesukaan larva terhadap sampah organik yang diberikan.

Tabel 9.1 memberikan informasi bahwa nilai persen reduksi tertinggi terdapat pada sampah wortel yaitu 63%. WRI tertinggi terdapat pada sampah wortel (4,2%), sedangkan yang terendah terdapat pada sampah timun yaitu sebesar 2,7%/hari. Sampah wortel memiliki kadar air yang optimal bagi pertumbuhan larva sehingga kecepatan penguraianannya lebih tinggi. Sampah timun memiliki kadar air yang tidak optimal bagi pertumbuhan larva sehingga kecepatan penguraianannya rendah. Nilai *fresh matter consumption rate* (FMCR) tertinggi terdapat pada sampah pisang, yaitu 70 mg/larva /hari, sehingga larva dapat menerima lebih banyak sampah organik yang pada awalnya hanya diberikan 40 mg/larva/hari. Nilai FMCR terendah terdapat pada sampah tomat yaitu 21 mg/larva/hari, sehingga sampah organik yang diberikan sebesar 40 mg/larva/hari terlalu besar bagi sampel tomat. Hal ini menyebabkan massa residu sampah tomat setelah penguraian tetap besar, yaitu sekitar 1,4 kg dari jumlah awal sebesar 3,1 kg.

Nilai persen DMR didapatkan berdasarkan pengurangan sampah pada bahan kering dan nilai persen DMR tertinggi berturut-turut terdapat pada

sampel timun, sawi, dan agregat. Berdasarkan Tabel 9.1, nilai persen DMR terendah terdapat pada sampel alpukat, jambu, dan pisang. Hal ini menunjukkan bahwa sampel dengan kadar air yang tinggi memiliki nilai persen DMR yang tinggi, demikian juga pada keadaan kadar air rendah, memiliki nilai persen DMR yang juga rendah. Nilai persen DMR menjadi koreksi bagi penentuan nilai DMCR sebagai tolok ukur bagi perancangan fasilitas. Nilai DMCR tertinggi berturut-turut terdapat pada sampel agregat sebesar 44 mg/larva/hari, dan pada sampel pisang yaitu 37 mg/larva/hari. Nilai DMCR yang digunakan sebagai rancangan pemberian sampah organik pada proses dekomposisi sampah organik pasar tradisional.

Nilai ECD berkisar antara 3-11%, dimana ECD tertinggi terdapat pada sampel agregat, sedangkan ECD terendah terdapat pada sampel jambu. Sampah jambu memiliki nilai ECD terendah karena memiliki biji yang cukup banyak, sehingga larva sulit untuk mengonsumsi sampah organik tersebut. Sampah alpukat yang juga memiliki biji yang cukup besar memiliki nilai ECD sebesar 5%. Hal ini dikarenakan pada awal pemeliharaan sampah alpukat telah dipisahkan oleh bijinya. Nilai *survival rate* tertinggi terdapat pada sampel pisang dan alpukat yaitu sebesar 100%, yang artinya dari total 200 larva yang diberikan, pada akhir pengamatan jumlah larva hidup masih tetap.

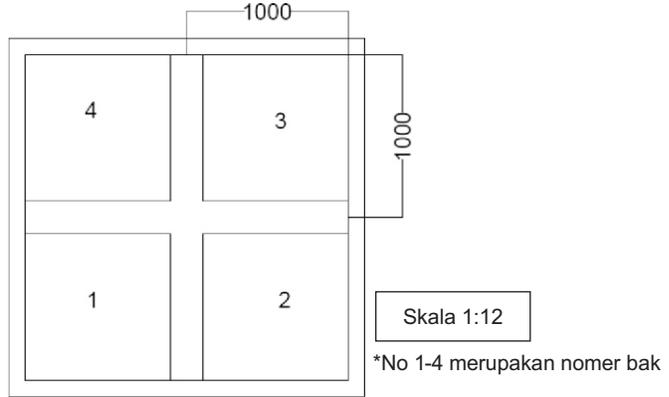
Nilai *survival rate* terendah terdapat pada sampah timun. Hal ini menyatakan tingkat kesukaan dan kenyamanan larva yang rendah terhadap sampah organik yang diberikan. Sampah pisang dan sampah alpukat paling disukai diantara sampel lainnya karena kadar air kedua sampel optimal dan tingkat kelunakan sampah alpukat paling lunak dari sampel lainnya Larva kurang nyaman pada sampah timun karena kadar air yang tinggi sehingga menyebabkan reaktor tergenang air dan menyebabkan kematian pada larva. Pada kondisi ini juga, larva juga dapat keluar dari reaktor karena ketidaknyamanan, kemudian mati karena tidak ada makanan.

### 9.5.3 Laju Dekomposisi pada Skala Rumah Tangga

Percobaan pada skala rumah tangga menggunakan laju pengumpanan yang sama yaitu 40 mg/larva/hari. Larva yang digunakan lebih banyak yaitu berjumlah 4.150 larva. Sampah yang diberikan yaitu jenis agregat yaitu sampah campuran dari pasar tradisional. Total sampah organik yang diberikan selama 15 hari sebesar 15 kg (berat basah) per bak dengan 4 kali pengulangan.

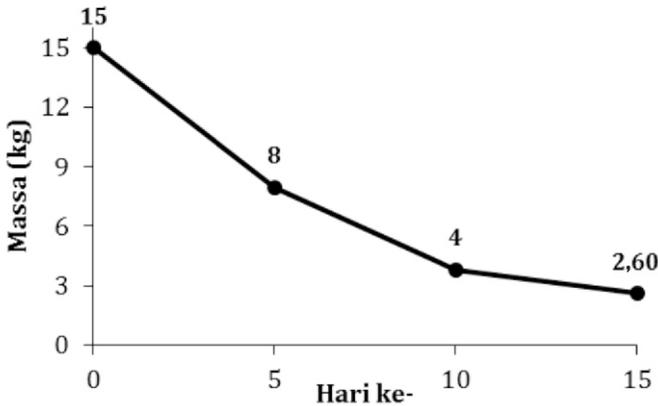
Tata letak bak dekomposisi pada skala rumah tangga dapat dilihat pada Gambar 9.7. Bak pengomposan dibuat dari struktur bata ringan sebagai

pembatasnya dan dasar bak berupa lapisan tanah asal. Sampah organik diletakkan dalam bak yang dasarnya dilapisi kain kassa untuk mencegah larva masuk ke dalam tanah. Setelah sampah organik dan larva dimasukkan dalam bak, bagian atas bak ditutupi kain kassa untuk mencegah lalat lain mengganggu proses dekomposisi.



Gambar 9.7 Tata letak bak dekomposisi skala rumah tangga

Pada akhir pengamatan, yaitu hari ke-15, hasil dekomposisi dianalisis mutunya berdasarkan standar kualitas kompos (SNI 19-7030-2004). Laju dekomposisi skala rumah tangga disajikan pada Gambar 9.8.



Gambar 9.8 Rata-rata laju dekomposisi sampah organik pada bak skala rumah tangga

## Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)

Pada Gambar 9.8 dilihat bahwa dari 15,0 kg sampah organik yang diberikan, larva mampu mengurai sampah sebanyak 12,6 kg sampah dan hanya tersisa 2,4 kg sampah organik. Nilai WRI pada percobaan ini adalah 83% dan nilai FMCR pada pengolahan tersebut adalah 40 mg/larva/hari. Nilai WRI dan nilai FMCR tinggi karena bak kompos memiliki lapisan dasar tanah sehingga tidak ada air yang menggenang. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Diener *et al.* (2011) yang menunjukkan adanya sistem drainase yang baik dapat meningkatkan kemampuan larva dalam mengurai sampah. Pengolahan sampah organik dengan larva BSF sebaiknya dilengkapi dengan sistem drainase yang baik (Mentari 2018).

## 10

### Pengalaman Praktis dalam Dekomposisi Sampah Organik Menggunakan Larva *Black Soldier Fly*

#### 10.1 Pengolahan BSF di Kota Depok

Kota Depok memiliki luas wilayah sebesar 198,3 km<sup>2</sup> dan jumlah penduduk sebesar 2.106.100 jiwa. Jumlah Rukun Warga (RW) Kota Depok sebesar 890 RW dengan jumlah Rukun Tetangga (RT) sebesar 5.055 RW (BPS 2015). Berdasarkan Peraturan Daerah Kota Depok No 5 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Sampah, maka rumah tangga dihimbau untuk mengelola limbah padat dengan memilahnya menjadi limbah padat organik dan non-organik. Proses pengolahan limbah padat organik tersebut terbagi menjadi 2 proses yaitu sistem static pile dan sistem dengan menggunakan larva BSF.

Pengolahan limbah padat sistem *Maggot* diurai oleh organisme yang sejenis belatung, yaitu *Maggot* (*Hermetia illucens*). *Maggot* dikenal sebagai organisme pemusuk karena kebiasaannya mengkonsumsi bahan-bahan organik. *Maggot* merupakan organisme yang berasal dari telur black soldier yang mengalami metamorfosis pada fase kedua setelah fase telur dan sebelum fase pupa yang kemudian berubah menjadi lalat dewasa (Dengah *et al.* 2016) . Tampak organisme *Hermetia illucens* seperti pada Gambar 10.1.



Gambar 10.1 *Hermetia illucens*

## Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)

Karakteristik sampah yang dapat diolah menggunakan *Maggot* adalah sampah organik yang lembut (daging buah, nasi, dll). Tujuan menggunakan sistem *Maggot* (menurut prioritas) adalah:

### 1. Mengurai sampah organik

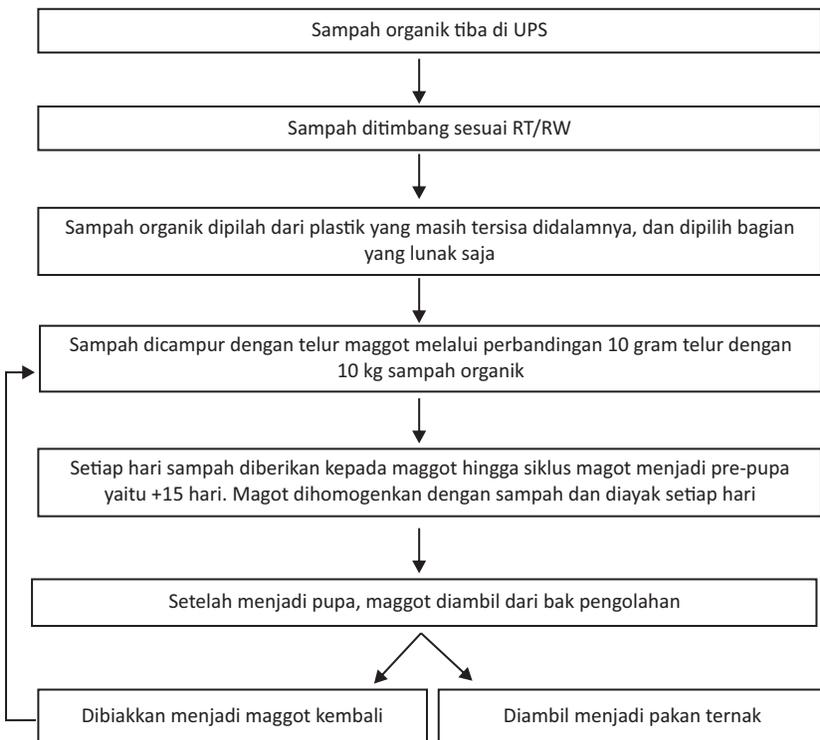
Sampah organik yang bertekstur lembut menjadi bahan makanan bagi *Hermetia illucens*.

### 2. Menghasilkan pupuk organik

Pupuk organik yang dihasilkan memiliki kandungan nutrisi yang lebih banyak dibandingkan kompos biasa.

### 3. Sebagai pengganti pakan ternak (contoh: pakan ternak lele)

Sebagian dari *Maggot* diberikan sebagai pakan lele dengan cara dihaluskan menggunakan *blender* ataupun langsung diberikan kepada lele. Gambar 10.2 merupakan diagram alir dari penguraian sampah organik dengan *Maggot*.



Gambar 10.2 Skema pengolahan sampah dengan BSF di Kota Depok

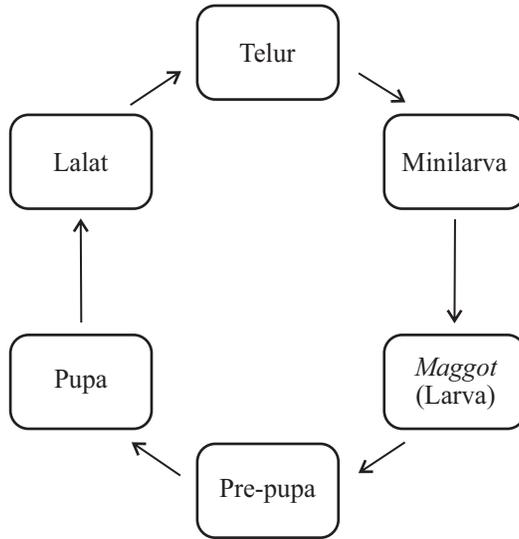
Sistem Pengolahan Sampah dengan larva BSF mampu mengurai sampah organik sebesar 70% dari sampah yang diberikan, sisanya merupakan sampah bertekstur kasar dan hasil pupuk organik yang telah diurai oleh *Maggot*. Komposisi dari pencampuran magot dengan sampah organik yaitu 10 gram telur magot dapat dicampurkan dengan 10 kg sampah organik. Pada UPS Merdeka 2 Kecamatan Sukmajaya terdapat 8 bak pengolahan magot, 5 bak berisi magot dewasa yang mampu mengurai 70-80 kg sampah organik, dan 2 bak berisi pra larva yang mampu mengurai 25 kg sampah per hari per bak nya. 1 bak berisi magot yan baru menetas dan mampu mengurai sampah sebanyak 15 kg. Sehingga per harinya dapat mengurai 120 kg sampah organik. Tampak bak pengolahan *Maggot* seperti pada Gambar 10.3.



Gambar 10.3 Bak pengolahan *Maggot* di UPS Merdeka 2

*Maggot* memiliki daur hidup selama kurang lebih 40 hari. Siklus hidup *Maggot* ditunjukkan pada Gambar 10.4.

Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)



Gambar 10.4 Siklus hidup *maggot*

Maggot dikembangkan dengan sistem ternak. Telur maggot dihasilkan dari lalat khusus dengan spesies *Black Soldier Fly* (BSF) seperti pada Gambar 10.5.



Gambar 10.5 (a) Tampak lalat *Black Soldier Fly* (BSF); (b) Tempat pembiakan lalat BSF.

Larva BSF berkembangbiak dengan cahaya yang cukup, sehingga agar *Maggot* dapat berkembang biak dengan baik, kandang lalat diletakkan di ruang terbuka dalam beberapa waktu. Kandang terbuat dengan kain kassa, dan diberi rangkaian tumpukan kayu pada bagian alas kandang sebagai tempat lalat menaruh telur-telurnya. Melalui 40 kg sampah yang diberi, dalam satu malam sampah menjadi habis dan hanya tersisa 10 kg. Tidak semua UPS menerapkan sistem *Maggot*, hanya 5 UPS yang menerapkannya yaitu UPS Merdeka 2, UPS TPA 1, UPS TPA 2, UPS TPA 3, UPS TPA 4. UPS lainnya masih menggunakan sistem *open window* saja. Masyarakat Depok sudah mulai memilah sampah meskipun belum seluruhnya. Sampah organik tersebut diangkut menggunakan mobil *pick-up* titik kumpul. Pengangkutan umumnya dimulai pukul 07.30 WIB, dengan satu kawasan mengalami satu kali pengangkutan per dua (2) hari dalam seminggu.

Hasil yang diperoleh dari sistem pengolahan di UPS diantaranya adalah:

#### 1. Kompos Organik

Kompos tersebut telah diuji dengan 28 parameter dan didapatkan hasil yang baik untuk seluruh parameter. Kompos organik normal dipanen pada suhu normal  $35^{\circ}\text{C} \pm 20^{\circ}\text{C}$ . Tampak produk kompos yang dihasilkan oleh UPS terdapat pada Gambar 12.6.



Gambar 10.6 Kompos yang dihasilkan dan siap didistribusikan kepada masyarakat Depok

#### 2. Pupuk Organik

Pupuk tersebut berasal dari hasil penguraian Larva BSF (*Hermetia illucens*) yang tinggi kadar NPK nya, namun belum ada penelitian lebih lanjut. Saat ini hasil dari pupuk organik yang dihasilkan langsung dicampurkan ke kompos organik hasil pengolahan sistem *static pile*.

Jumlah sampah terolah di Kota Depok sebesar 11% dengan jumlah 148 ton, sedangkan jumlah sampah yang dibuang ke TPA sebesar 47% yaitu jenis sampah residu yang terangkut oleh pihak DLHK Kota Depok. Jumlah sampah yang tidak terkelola oleh Kota Depok sebesar 42%, yaitu meliputi warga yang tidak terlayani oleh pengangkutan Kota Depok ataupun warga yang belum memilah yang masih mengikuti pengangkutan oleh pihak swasta.

## 10.2 Pengolahan BSF di Leuwiliang, Bogor

Bogor merupakan ibu kota dari Jawa Barat dengan jumlah penduduk sebanyak 237.641.326 jiwa. Hingga tahun 2014, jumlah penduduk di Kota Bogor meningkat hingga 1.030.720 jiwa (BPS 2014). Peningkatan jumlah penduduk berakibat pada peningkatan aktivitas penduduk sehingga jumlah limbah yang dihasilkan pun meningkat, terutama di perkotaan. Limbah padat yang dihasilkan Kota Bogor memiliki komposisi tertentu. Berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Bogor, pada tahun 2015 komposisi sampah dengan timbulan 2.673,10 m<sup>3</sup> terdiri dari sampah organik (60,85%), plastik (12,83%), kertas (8,67%), logam (0,24%), tekstil (2,94%), karet (0,36%), kaca & mineral (1,11%), B3 (0,02%), lain-lain (4,67%) dan residu (8,31%). Menurut Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Bogor pada tahun 2003, dari seluruh sampah yang dihasilkan, yang dapat ditangani oleh pihak DKP (Januari 2017 menjadi DLH) adalah 14.811 m<sup>3</sup> per hari atau sekitar 67% (Murniwati 2006).

Rata-rata timbulan sampah yang dihasilkan di Kabupaten Bogor adalah sebesar 38.394 m<sup>3</sup>/bulan. Presentase terbesar dari komposisi sampah di Bogor merupakan fraksi organik, sehingga dibutuhkan pengolahan yang tepat. Pemanfaatan larva BSF sebagai dekomposer sampah merupakan strategi tepat untuk mengurangi sampah organik. Pada saat ini, pemerintah Kota maupun Kabupaten Bogor belum menerapkan sistem pengolahan sampah organik menggunakan larva BSF di TPA masing-masing daerah.

Pada saat ini, sudah ada beberapa unit pengembangan komoditi larva BSF di Kota Bogor milik swasta. Salah satu dari tempat pengolahan itu terdapat di Leuwiliang, tempat tersebut milik PT XYZ. Tempat ini sudah berdiri sejak dari tahun 2016, memiliki luas kira-kira 1 hektar dengan dilengkapi beberapa fasilitas. Fasilitas yang dimiliki tempat ini terdiri dari 2 bangunan. Bangunan pertama diperuntukkan bagi pengembangan larva BSF, bangunan kedua diperuntukkan bagi pengembangan lalat BSF hingga menjadi telur. Tampak tempat pengolahan BSF milik PT XYZ disajikan pada Gambar 10.7.



Gambar 10.7 Tempat pengolahan BSF

Pakan yang diberikan untuk larva BSF merupakan sampah organik yang didapatkan dari pasar tradisional maupun catering di sekitar tempat pengolahan larva BSF. Pakan diberikan selama tahap larva BSF, ketika sudah memasuki tahap pre-pupa maka hanya membutuhkan sedikit pakan saja. Tampak pakan yang diberikan kepada larva BSF disajikan pada Gambar 10.8.



Gambar 10.8 Pakan yang diberikan kepada larva BSF

## Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)

Tahap-tahap pengolahan BSF dimulai sejak tahap telur. Satu rumpun telur BSF berisi 300-600 calon larva. Setiap harinya, di tempat ini dapat dihasilkan 1.000-3.000 rumpun, tergantung kepada kondisi efektif bagi larva. Suhu lingkungan yang terlalu rendah, ataupun ketika hujan turun, produksi telur larva menjadi berkurang. Tampak telur yang dihasilkan pada tempat pengolahan ini disajikan pada Gambar 10.9.



Gambar 10.9 Telur BSF yang dihasilkan

Selanjutnya telur akan dicampurkan dengan pakan yang cenderung lunak, kemudian didiamkan selama 1-2 hari. Setelah telur menetas, maka larva akan mengonsumsi pakan hingga berumur 14-16 hari sebelum menjadi pre-pupa. Larva BSF berumur 1-7 hari setelah menetas memiliki kondisi yang rentan, sehingga harus ditempatkan di ruangan tertutup dengan kondisi yang optimal. Tampak ruang isolasi larva berumur 1-7 hari disajikan pada Gambar 10.10.



Gambar 10.10 Ruang isolasi larva berumur 1-7 hari

Pada ruangan ini dilengkapi penerangan yang cukup, dengan kondisi agak lembab. Larva ditaruh di dalam bak sedang berbahan plastik. Bak disusun dalam rak dan dikelompokkan pada masing-masing umur. Proses ini berlangsung pada bangunan kedua yaitu pada bangunan pengolahan lalat BSF dan telur BSF. Tampak larva berumur 3 hari disajikan pada Gambar 10.11.



Gambar 10.11 Larva berumur 3 hari

## Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)

Selanjutnya, ketika sudah berumur 8 hari maka larva tersebut dipindahkan ke ruangan pertama yaitu pada bangunan pengolahan larva. Tampak bangunan pengolahan larva disajikan pada Gambar 10.12.



Gambar 10.12 Bangunan pengolahan larva

Struktur bangunan pengolahan larva dibuat terbuka setengah, dengan dilapisi oleh kain kasa pada sebagian tembok pembatas. Hal ini diperuntukkan agar cahaya matahari tetap masuk kedalam, namun dengan intensitas yang tidak terlalu tinggi. Pada fase larva dibutuhkan kondisi yang tidak terlalu terpapar cahaya dengan kondisi yang agak lembab, sehingga proses pengolahan ini harus berlangsung pada ruangan yang tertutup. Tampak larva berumur 8 hari disajikan pada Gambar 10.13.



Gambar 10.13 Larva berumur 8 hari

Bangunan ini terdiri dari 2 bagian yang terdiri dari 8 bak memanjang dengan ukuran masing-masing sebesar 12 x 1 x 0,25 m. Bak 1-4 diisi dengan larva berumur 8-16 hari, bak 5-8 diisi dengan larva yang sudah berumur 16 hari keatas sebelum menjadi lalat, yaitu pada fase pre-pupa hingga fase pupa. Tampak larva pada fase pupa disajikan pada Gambar 10.14.



Gambar 10.14 Larva pada fase pupa

Pada fase pupa setelahnya akan dikembangkan menjadi lalat, sehingga pupa akan diangkat dan dibawa ke bangunan kedua yaitu proses pengolahan lalat BSF. Pupa akan diletakkan pada ruang pembiakan lalat BSF. Tampak ruang pembiakan lalat BSF disajikan pada Gambar 10.15.



Gambar 10.15 Ruang pengolahan lalat BSF

Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)

Proses pupa menjadi lalat BSF dapat berlangsung selama 2-7 hari. Kondisi efektif bagi lalat BSF yaitu terdapat pada ruangan yang terang. Intensitas cahaya yang tinggi akan meningkatkan produksi telur. Tampak lalat BSF disajikan pada Gambar 10.16.



Gambar 10.16 Ukuran lalat BSF

Lalat BSF berkembang biak dengan cara kawin. Setiap proses perkawinan akan menghasilkan satu rumpun telur yang berisi 300-600 telur. Lalat BSF kemudian akan mati ketika sudah melakukan proses kawin. Tampak proses perkawinan lalat BSF disajikan pada Gambar 10.17.



Gambar 10.17 Proses kawin pada lalat BSF

Proses kawin dilakukan antara lalat jantan dan lalat betina. Melalui proses tersebut maka diproduksi telur yang akan disimpan pada tempat yang aman dan tertutup menurut lalat. Pada tempat ini, bangunan pengolahan lalat BSF dilengkapi dengan susunan kayu kecil berukuran 25 x 7 cm yang ditumpuk sebanyak 3-4 susun dengan dibatasi lidi agar terdapat celah diantara kayu. Pada celah tersebut, lalat BSF akan meletakkan telur-telurnya. Susunan kayu ini juga dapat disubstitusi dengan karton. Celah-celah karton merupakan tempat lalat meletakkan telur-telurnya. Tampak kayu susun media telur BSF disajikan pada Gambar 10.18.



Gambar 10.18 Tampak media telur BSF

Penggunaan kayu bersusun lebih dianjurkan dibandingkan menggunakan kardus, hal ini agar memudahkan pada saat pemanenan telur. Ketika telur sudah diproduksi maka akan menetas kembali menjadi larva hingga siklus selanjutnya. Produksi larva pada PT XYZ saat ini masih dalam tahap riset dan pengembangan. Penjualan larva menjadi bahan pakan ternak belum menjadi fokus utama bisnis, namun pada jangka panjang akan diproduksi lebih banyak larva dengan pengolahan lebih lanjut agar meningkatkan harga jual larva.

Bisnis ini aktif memberi pelatihan dan sosialisasi mengenai cara pengembangan BSF dengan baik pada komunitas lokal maupun komunitas umum. Saat ini unit usaha belum bekerjasama dengan pemerintah Kota/Kabupaten dalam pengolahan sampah organik. Namun, prospek

kedepannya akan ditingkatkan hubungan kerjasama tersebut agar terjalin simbiosis mutualisme, dimana pemerintah kota menyuplai sampah organik untuk pakan larva sehingga mengurangi timbulan sampah di Bogor, dan pelaku usaha dapat meraih untung yang lebih besar lagi dalam pengolahan larva BSF.

### 10.3 Pengolahan BSF di Sumedang

Indonesia merupakan negara berkembang, salah satu problema dalam negara ini adalah penyakit. Penyakit disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah faktor kebersihan lingkungan. Sampah menjadi musuh utama bagi permasalahan lingkungan. Produksi sampah di dunia mencapai 11 milyar ton sampah/tahun, lebih dari setengah presentase timbulan sampah yang dihasilkan berjenis organik. Pengolahan sampah organik BSF merupakan yeknologi reduksi sampah yang cukup menjanjikan.

Pengolahan BSF di Kota Sumedang dikelola secara perorangan tanpa bekerjasama dengan institusi pemerintahan. Skala pengolahan di Kota ini sudah memadai karena dilengkapi dengan 3 bangunan dengan beberapa fasilitas lainnya. Tampak tempat pengolahan BSF di Sumedang disajikan pada Gambar 10.19.



Gambar 10.19 Pengolahan BSF di Kota Sumedang

Pada usaha pengolahan BSF ini terdiri dari bangunan pengolahan lalat BSF, bangunan pengolahan kompos, bangunan pengolahan larva BSF, lapangan untuk menjemur larva, serta peternakan unggas yang diberi pakan larva BSF. Melalui pengolahan ini, dihasilkan 1.000-1.400 rumpun telur larva, satu rumpun telur berisi 300-1000 larva BSF. Lalat BSF aktif berkembang biak pada pukul 8-11 WIB. Pakan larva BSF yang diberikan berasal dari pasar serta unit usaha lain di sekitar tempat pengolahan. Jenis-jenis pakan yang diberikan kepada larva yaitu sampah organik, ampas tahu, serta kotoran hewan. Larva efektif berkembang pada kelembapan (RH) 70-80%, serta pada suhu 30-33 °C. Tampak bangunan pengolahan larva BSF disajikan pada Gambar 10.20.



Gambar 10.20 Bangunan pengolahan larva BSF

Bangunan pengolahan larva BSF merupakan bangunan semi tertutup, dibuat menggunakan struktur bambu dan dilapisi dengan dedaunan. Bangunan dilengkapi dengan bak berbahan semen dengan dimensi 10 x 1 x 0,2 m sebagai tempat untuk mendegradasi sampah organik menggunakan larva BSF. Larva setelah berumur 7 hari akan ditempatkan di dalam bak ini. Detil bak pengolahan larva BSF ini disajikan pada Gambar 10.21.

Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)



Gambar 10.21 Bak pengolahan larva BSF

Struktur bak didesain memiliki kemiringan pada sisi luar, hal ini diperuntukkan agar ketika larva sudah memasuki fase pre-pupa akan mencari tempat yang lebih kering, sehingga larva akan naik ke sisi bak dan kemudian terjatuh pada jalur pemanenan larva. Jalur pemanenan larva ditunjukkan pada lingkaran di Gambar 10.21. Pada ujung jalur tersebut diberi tempat pengumpulan larva fase pre-pupa maupun jika sudah menjadi fase pupa untuk kemudian dikembangkan menjadi lalat BSF. Bangunan ini juga dilengkapi instalasi penampungan “air lindi” dari sampah organik, untuk kemudian dijadikan pupuk cair. Saluran penampung pupuk cair disajikan pada Gambar 10.22.



Gambar 10.22 Instalasi penampungan pupuk cair

Pupuk cair tersebut digunakan untuk sawah milik pribadi. Pupuk cair sudah memenuhi standar SNI pupuk cair menurut pemaparan pemilik peternak BSF ini. Melalui 1 ton sampah, dapat menghasilkan 300 liter pupuk cair per harinya. Tampak pupuk cair yang di hasilkan disajikan pada Gambar 10.23.



Gambar 10.23 Pupuk cair yang dihasilkan

Setelah pemanenan larva fase pre-pupa dan pupa, larva tersebut akan dipindahkan ke *rearing base* yaitu bangunan tempat pengembang biakkan lalat BSF. Tampak *rearing base* disajikan pada Gambar 10.24.



Gambar 10.24 *Rearing base*

## Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)

Bangunan ini memiliki dimensi 7 x 7 m dengan setengah bangunan ditutupi kaca, sedangkan setengahnya lagi terdiri dari pasangan bata. Produksi pre-pupa setiap harinya sebesar 3 kg, atau kurang lebih terdiri dari 21.000 ekor larva fase pre-pupa. Rearing base dilengkapi dengan saluran air di sekelilingnya agar kondisi kelembapan optimal bagi lalat BSF tetap terjaga. Tampak saluran air disajikan pada Gambar 10.25.



Gambar 10.25 Saluran air

Setelah lalat memproduksi telur maka telur akan dipindahkan ke *hatchery* untuk dikembangkan hingga berumur 7-10 hari. Saat ini pemilik telah memasarkan produk larva BSF sebagai pakan ternak. Harga jual pakan untuk hewan ternak (larva berumur 14 hari) yaitu Rp 18.000 per kilogram, namun untuk pakan kering (sudah dijemur dengan kadar air 12%) yaitu 32.000 per kilogram. Larva juga dipasarkan pada sektor industri penghasil “Chitosan”, karena kandungan kitin pada larva fase pre-pupa sangat tinggi.

Larva aktif memakan pakan organik pada umur 10-18 hari dengan kecepatan yang tinggi. Sisa pakan larva dijadikan kompos, jumlah kompos berkisar antara 20-30% dari jumlah sampah segar. Tampak bangunan pengolahan kompos (*storage pit*) disajikan pada Gambar 10.26.



Gambar 10.26 *Storage pit* kompos

Potensi tertinggi larva BSF adalah pada kandungan protein larva. Kandungan protein tertinggi terdapat pada larva berumur 18 hari menurut penuturan pemilik ternak larva BSF. Hewan ternak yang diberi pakan larva BSF memiliki berat tubuh yang lebih besar dibandingkan dengan tidak diberikan pakan larva BSF. Saat ini, pakan larva BSF juga diberikan kepada hewan ternak milik peternak larva BSF yaitu berjenis unggas. Kegiatan pemberian makan disajikan pada Gambar 10.27.

Penggunaan Larva (*Maggot*) *Black Soldier Fly* (BSF)



Gambar 10.27 Kegiatan pemberian pakan pada ternak unggas

Ternak unggas pada gambar diatas diberi pakan larva berumur 14 hari, tanpa ada pengolahan apapun. Terbukti bahwa peningkatan berat badan unggas lebih signifikan menggunakan pakan larva BSF menurut peternak. Unggas yang dipelihara diantaranya adalah ayam, entok, dan angsa.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez L. 2012. The role of black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae) in sustainable management in northern climates [Disertasi]. Diambil dari University of Windsor.
- Apriadi WH. 1989. Memproses sampah. Jakarta (ID): Penebar Swadaya.
- Badan Pengkajian Teknologi Pertanian [BPTP]. 2016. Teknologi pengomposan limbah organik kota dengan menggunakan black soldier fly. Jakarta (ID): Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Badan Pusat Statistik [BPS]. 2013. Pengeluaran untuk konsumsi penduduk Indonesia 2013. Jakarta (ID): BPS.
- Badan Pusat Statistik [BPS]. 2015. Kota Depok dalam angka 2015. Jakarta (ID): BPS.
- Badan Standardisasi Nasional [BSN]. 2004. Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik. SNI 19-7030-2004. Jakarta (ID): BSN.
- Booth DC, Sheppard C. 1984. Oviposition of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Eggs, masses, timing and site characteristics. *Environ Entomol* 13(2): 421-3.
- Chapman RF. 1998. The insects: Structure and function. Cambridge (UK): Cambridge University.
- Cickova H, Newton GL, Lacy RC, Kozanek M. 2015. The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Manage* 35(1): 68-80.
- Darmawan M, Sarto, Prasetya A. 2017. Budidaya larva black soldier fly (*Hermetia illucens*) dengan pakan limbah dapur (daun singkong). Dalam: Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi dan Perancangan Industri (RAPI) XVI 2017. Prodising: 2018 Des 13-12; Surakarta. Surakarta (ID): Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta. p. 208-13.
- Dengah SP, Umboh JF, Rahasia CA, Kowel YH. 2016. Pengaruh penggantian tepung ikan dengan tepung maggot (*Hermetia illucens* L.) dalam ransum terhadap performans broiler. *Jurnal Zootek* 36(1): 51-60.
- Diener S, Solano NM, Gutiérrez FR, Zurbrügg CT. 2011. Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste Biomass Valor* 2(1): 357-63.
- Diener S. 2010. Valorisation of organic solid waste using the black soldier fly, *Hermetia illucens* L., in low and middle-income countries [Disertasi]. Diambil dari ETH Zurich.

- Dormans B, Diener S, Verstappen, Zurbrugg C. 2017. Black soldier fly biowaste processing - A step-by-step guide. Dübendorf (CH): Eawag Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- Dossey AT, Juan A, Morales -Ramos, Rojas G. 2016. Insects as sustainable food ingredients production, processing and food applications. London (UK): Academic Press.
- Elwan A, Arief YZ, Adzis Z, Muhammad NA. 2015. Life cycle assessment-based environmental impact comparative analysis of composting and electricity generation from solid waste. *Energy Procedia* 68(5): 186-94.
- Fahmi MR. 2015. Optimalisasi proses biokonversi dengan menggunakan minilarva *Hermetia illucens* untuk memenuhi kebutuhan pakan ikan. *Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon 2015* [Internet]. [Disitir 2018 Feb 20]; 1(1):139-44; Tersedia dalam: <http://biodiversitas.mipa.uns.ac.id/M/M0101/M010124.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO]. 2013. *Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security*. Wageningen UR: Rome (RM).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics [FAOSTAT]. 2009. Correlation of protein consumption in several countries 1993-2009 [Internet]. [Disitir 2018 Mar 23]. Tersedia dalam: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/CL>
- Forbes R, Peter R, Marina F, Peter H. 2007. *Intergrated solid waste management: A life cycle inventory*. Massachusetts (US): John Wiley & Sons.
- Gaudy AF, Gaudy ET. 1980. *Microbiology for environmental engineering scientist and engineers*. New York (US): John Wiley & Sons Inc.
- Guerero LA, Maas G, Hogland, W. 2013. Solid waste management challenges for cities in developing countries- review. *Waste Manage* 33(1): 220-32.
- Hadiwiyoto S. 1983. *Penanganan dan pemanfaatan sampah*. Jakarta (ID): Yayasan Idayu.
- Holmes LA, Vanlaerhoven SL, Tomberlin JK. 2012. Relative humidity effects on the life history of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environ Entomol* 41(4): 971-8.
- Ibrahim M, Mohamed NA. 2016. Improving sustainability concept in developing countries: Towards sustainable management of solid waste in Egypt. *Procedia Environ Sci* 34(1): 336-47.

- Insam H, de Bertoldi M. 2007. Microbiology of the composting process. Dalam: Compost Science and Technology. Diedit oleh Diaz LF, de Bertoldi M, Bidlingmaier W, Stentiford E. Amsterdam (NL): Elsevier Science. p. 25-48. [Waste Management Series, Vol. 8].
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan [KLHK]. 2017. Statistik lingkungan hidup Indonesia 2017. Jakarta (ID): KLHK.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup [KNLH]. 2008. Statistik lingkungan hidup Indonesia 2008. Jakarta (ID): KNLH.
- Kim W, Bae S, Park H, Park K, Lee S, Choi Y, Koh Y. 2010. The larval age and mouth morphology of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). Int J Indust Entomol 21(2): 185-7.
- Kroes K. 2012. Design and evaluation of a black soldier fly (*Hermetia illucens*) rearing system [Tesis]. Diambil dari Wageningen University.
- Leclercq M. 1997. A propose de *Hermetia Illucens* L. (Linnaeus, 1758) ("soldier fly") (Diptera Stratiomyidae: Hermetiinae). Bull Annls Socr Belge Ent 133: 275-82.
- Lewis WJ, Stapel JO, Cortesero AM, Takasu K. 1998. Understanding how parasitoids balance food and host needs: Importance to biological control. Biol Control 11: 175-83.
- Makkar HP, Tran G, Heuze V, Ankreas P. 2014. State of the art on use of insects as animal feed. Anim Feed Sci Technol 197(1): 1-33.
- Malinauskaite J, Jouhara H, Czajczynska D, Stanchev P, Katsou E, Rostkowski P, ... Spencer N. 2017. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. Energy J 2(141): 2013-44.
- Mani S, Singh A. 2016. Sustainable municipal solid waste management in India: A policy agenda. Procedia Environ Sci 35(1): 150-7.
- Marilyn CE, Mahbub I, Sheppard C, Liao J, Michael PD. 2004. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly. J Food Prot 67(4): 685-90.
- McShaffrey D. 2013. Black Soldier Fly-*Hermetia illucens* [internet]. Ames, US: BugGuide; [diperbarui 2013 Des 19; disitir 2016 Mei 31]. Tersedia dalam: <http://bugguide.net/node/view/874940/bimage>
- Mentari PD. 2018. Karakteristik dekomposisi sampah organik pasar tradisional menggunakan larva black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) [Skripsi]. Diambil dari Institut Pertanian Bogor.

- Morales-Ramos JA, Rojas MG, Shapiro-Ilan DI. 2014. Mass production of beneficial organisms invertebrates and entomopathogens. Cambridge (US): Academic Press.
- Murniwati T. 2006. Analisis willingness to pay pengelolaan sampah pasar tradisional Kota Bogor [Tesis]. Diambil dari Institut Pertanian Bogor.
- Myers HM, Tomberlin JK, Lambert BD, Kattes D. 2008. Development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairy manure. *Environ Entomol* 37(1): 11-5.
- Newton L, Sheppard C, Watson DW, Burtle G, Dove R. 2005. Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure [Tesis]. Diambil dari North Carolina State University.
- Newton GL, Sheppard DC, Thompson SA, Savage SI. 1995. Soldier fly benefits: House fly control, manure volume reduction and manure nutrient recycling [Laporan Tahunan]. Diambil dari UGA Animal & Dairy Science.
- Popa R, Green T. 2012. Biology and ecology of the black soldier fly. Amsterdam (NL): DipTerra LCC e-Book.
- Rachmawati, Buchori D, Hidayat P, Hem S, Fahmi MR. 2010. Perkembangan dan kandungan nutrisi larva *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) pada bungkil kelapa sawit. *JEI* 7(1): 28-41.
- Riddick EW. 2007. Influence of honey and maternal age on egg load of lab-cultured *Cotesia marginiventris*. *BioControl* 52(1): 613-8.
- Saeed MO, Hassan MN, Mujeebu MA. 2009. Assessment of municipal solid waste generation and recyclable materials potential in Kuala Lumpur, Malaysia. *Waste Manage* 29(1): 2209-13.
- Saragi ES, Bagastyo AY. 2015. Reduction of organic solid waste by black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. Dalam: The 5th Environmental Technology and Management Conference. Prosiding: 2015 November 24-23; Bandung. Bandung (ID): Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.
- Sheppard DC, Tomberlin JK, Joyce JA, Kiser BC, Sumner AM. 2002. Rearing methods for the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *J Medic Entomol* 39(4): 695-8.
- Sipayung PY. 2015. Pemanfaatan larva black soldier fly (*Hermetia illucens*) sebagai salah satu teknologi reduksi sampah di daerah perkotaan [Skripsi]. Diambil dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Soni A, Patil D, Argade K. 2016. Municipal solid waste management. *Procedia Environ Sci* 35(3): 119-26.
- Suciati R, Faruq H. 2017. Efektifitas media pertumbuhan maggots *Hermetia illucens* (lalat tentara hitam) sebagai solusi pemanfaatan sampah organik. *Jurnal Biosfer dan Pendidikan Biologi* 2(1): 8-13.
- Sugiharto R, Suroso E, Dermawan B. 2016. Tinjauan neraca massa pada proses pengomposan tandan kosong kelapa sawit dengan penambahan air limbah pabrik kelapa sawit. *Jurnal Teknologi Industri & Hasil Pertanian* 21(1): 51-62.
- Supriatna J. 2008. Melestarikan alam Indonesia. Jakarta (ID): Yayasan Obor Indonesia.
- Suthar S. 2009. Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia fetida*: Impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. *Ecoleng* 35(1): 914-5.
- Tan M, Kusriastuti R, Savioli L, Hotez PJ. 2014. Indonesia: An emerging market economy beset by Neglected Tropical Diseases (NTDs). *PLoS Negl Trop Dis* 8(2): e2449.
- Tchobanoglous G, Kreith F. 2002. Handbook of solid waste management, second edition. New York (US): McGraw-Hill Companies, Inc.
- Tomberlin JK, Sheppard DC, Joyce JA. 2002. Selected lifehistory traits of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) reared on three artificial diets. *Annals Entomol Soc Amer* 95(3): 379-86.
- Tomberlin JK, Sheppard DC. 2002. Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) in a colony. *J Entomol Sci* 37(4): 345-52.
- Varma VS, Das S, Sastri CV, Kalamdhad AS. 2017. Microbial degradation of lignocellulosic fractions during drum composting of mixed organic waste. *Sustainable Environment Research* 27(2): 265-72.
- Villar I, Alves D, Garrido J, Mato S. 2016. Evolution of microbial dynamics during the maturation phase of the composting of different types of waste. *Waste Manage* 54(1): 83-92.
- Wang YS, Shelomi M. 2017. Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods* 6(21): 1-23.
- Weber J, Karczewska A, Drozd J, Licznar M, Licznar S, Jamroz E, Kocowicz A. 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. *Soil Bio Biochem* 39(2): 54-62. 24.

- Yuwono AS. 2004. Proses pengomposan bahan organik sebagai salah satu sumber pencemaran udara. Dalam: Simposium Nasional Pertanian Organik. Prosiding: 2004 Nov 29; Bogor.
- Yuwono AS. 2012. Estimasi produksi dan dispersi gas polutan dari kegiatan daur ulang limbah aluminium. Dalam: Seminar Nasional Waste Management I. Prosiding: 2012 Feb 21; Surabaya. Surabaya (ID): Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. p. 412-7.
- Yuwono AS, Ichwan N, Saptomo SK. 2013. Implementasi konsep “Zero waste production management” bidang pertanian: Pengomposan jerami padi organik dan pemanfaatannya. *Jurnal Bumi Lestari* 13(2): 366-73.
- Yuwono AS, Ra'up AA, Mentari PD, Driantika AV, Buana EG, Rosdiana, Elsa NS. 2017. Praktik pengelolaan limbah padat dan B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) di Jakarta, Bogor, Depok dan Bekasi. Bogor (ID): SEAMEO BIOTROP.
- Zalom FG, Goodell PB, Wilson LT, Barnett WW, Bentley WJ. 1983. Degree - days: The calculation and use of heat units in pest management. Berkeley (US): University of California.

## Tentang Penulis



**Arief Sabdo Yuwono** lahir di Magetan, Jawa Timur pada 21 Maret 1966. Menempuh pendidikan dasar hingga menengah di kota tersebut, sedangkan tingkat sarjana diselesaikan di Institut Pertanian Bogor (IPB), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian (Fateta) tahun 1989. Bulan Januari-Desember 1992 mengikuti *Short course* “Environmental Control Engineering in Agriculture” di University of Tokyo dan University of Kochi, Japan atas sponsor JICA (Japan International Cooperation Agency). Tahun 1994-1996 menempuh pendidikan S2 di Centre for Environmental Sanitation (CES), University of Ghent, Belgium atas sponsor Badan Kerjasama Pembangunan Belgia (ABOS, Algemeen Bestuur voor Ontwikkelingssamenwerking) dan memperoleh gelar **Master of Science in Environmental Sanitation** dengan predikat *Great Distinction*. Pendidikan S3 ditempuh di dua jurusan (institut), yaitu *Institut für Landtechnik* dan *Center for Development Research (Zentrum für Entwicklungsforschung, ZEF)*, University of Bonn, Germany, atas sponsor Dinas Pertukaran Akademik Jerman (DAAD, *Deutscher Akademischer Austauschdienst*) pada tahun 1999-2003. Sejak akhir 2003 hingga 2008 kembali aktif mengajar di Jurusan Teknik Pertanian Fateta IPB dan pada tahun 2008 pindah ke Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan (SIL), Fateta IPB. Mata kuliah tingkat sarjana (S1) yang diampu antara lain adalah Teknik Pengelolaan Kualitas Udara, Teknik Sanitasi Lingkungan, Teknik Pengelolaan Limbah Padat dan B3 serta Pengantar *Life Cycle Analysis* (LCA). Pada tingkat pasca sarjana (S2 dan S3) mata kuliah yang diampu adalah Polusi dan Sanitasi Lingkungan, Bangunan dan Lingkungan, serta Teknologi Pengolahan Limbah Pertanian. Penulis telah terlibat secara aktif dalam seratus lebih kegiatan Tridharma Perguruan Tinggi di berbagai tempat di Indonesia, baik sebagai ketua, maupun anggota tim konsultan lingkungan atau sebagai narasumber bidang Teknik Lingkungan. Pada tahun 2014 dan 2016 penulis terpilih menjadi Dosen Berprestasi Pertama di Fateta IPB. Pada tahun 2014 menjadi Dosen Terbaik ke-3 di IPB dan sekaligus juga terpilih sebagai Dosen Peneliti Terbaik di Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fateta IPB. Lebih dari 60 artikel ilmiah telah dipublikasikan dalam berbagai bentuk (prosiding, jurnal nasional dan internasional). Pada Maret 2015 - Desember 2017 penulis menjabat sebagai *Deputy Director for Resource Management* di SEAMEO BIOTROP. Buku yang telah ditulis dan terbit antara lain adalah “Lingkungan dan Bangunan Pertanian” (2014), “Penuntun Praktikum Teknik Pengelolaan Kualitas Udara” (2014), “Pengelolaan Kualitas Udara dan Kebisingan untuk Kesehatan Masyarakat dan Konservasi Lingkungan” (2015), “Pengolahan dan Pemanfaatan Limbah Pertanian” (2016), “Debu dan Partikel Dalam Udara Ambien” (2017), “Praktik Pengelolaan Limbah Padat dan B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) di Jakarta, Bogor, Depok dan Bekasi” (2017).



**Priscilia Dana Mentari** dilahirkan di Jakarta pada tanggal 26 Agustus 1996. Pendidikan sekolah dasar diselesaikan pada tahun 2008 di SD Melati Don Bosco Pondok Indah, pendidikan menengah pertama diselesaikan pada tahun 2011 di SMPK Ora et Labora Pamulang, pendidikan menengah atas diselesaikan pada tahun 2014 di SMA Negeri 3 Kota Tangerang Selatan, dan pendidikan tingkat sarjana diselesaikan pada tahun 2018 di program studi Teknik Sipil dan Lingkungan IPB, pendidikan tingkat magister ditempuh pada Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan IPB. Selama masa kuliah di IPB, penulis aktif di kegiatan organisasi Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan (Himatesil) sebagai Ketua Departemen *Public Relations* (PR) periode 2016-2017. Penulis juga aktif pada organisasi Persekutuan Mahasiswa Kristen (PMK) sebagai anggota Komisi Kesenian dan UKM Merpati Putih IPB sebagai anggota Divisi Internal pada tahun 2015. Penulis menjadi asisten praktikum untuk mata kuliah Ilmu Ukur Tanah pada semester ganjil tahun ajaran 2015/2016 dan mata kuliah Teknik Radar Interferometri pada semester genap tahun ajaran 2015/2016, serta Mata Kuliah Agama Kristen Protestan pada semester ganjil tahun ajaran 2016/2017. Penulis menjadi Mahasiswa Berprestasi tingkat Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan IPB pada dua periode pada tahun 2015/2016 dan tahun 2016/2017 dan Finalis Mahasiswa Berprestasi tingkat Fakultas Teknologi Pertanian IPB pada periode yang sama. Penulis meraih juara 1 Lomba Esai *Indonesian Environmental Students Summit* (IEESS) yang diselenggarakan oleh Ikatan Mahasiswa Teknik Lingkungan Indonesia (IMTLI). Penulis menjadi semifinalis pada kompetisi *Physics Summit Paper Competition* dan *Smart Innovation of Writing Competition* yang diselenggarakan oleh Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis pernah meraih juara 3 pada kompetisi Cipta Lagu Pop di *Fateta Art Contest* 2016. Penulis juga pernah meraih juara 1 pada kompetisi *F-Cooking di Fateta Art Contest* 2017. Penulis mengikuti Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) dan menjadi kelompok yang didanai oleh DIKTI pada tahun 2017. Penulis merupakan penerima beasiswa Pemerintah Provinsi Jawa Barat pada tahun 2016, dan menjadi penerima beasiswa *Goodwill International Scholarship* pada tahun 2017 yang disponsori oleh *American Woman Association* (AWA). Penulis juga menjadi Juara Harapan 2 pada kompetisi *Ecohouse Design Competition* KMTS UGM pada tahun 2018. Penulis telah menerbitkan buku berjudul *Praktik Pengelolaan Limbah Padat dan B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun)* di Jakarta, Bogor, Depok dan Bekasi (2017).



Pengolahan sampah atau limbah telah menjadi salah satu fokus perhatian penting bagi otoritas pengelola lingkungan hidup di Indonesia. Persentase sampah terbesar di Indonesia adalah fraksi organik, yaitu mencapai 60%. Bahkan, pada beberapa lokasi bisa mencapai 74% dari timbulan sampah padat perkotaan. Pada sisi lain, pengolahan limbah di tempat asal (*treatment at source*) masih relatif kecil porsinya. Dengan kata lain, sebagian besar limbah tetap diangkut ke TPA (Tempat Pemrosesan Akhir), dimana di beberapa wilayah di Indonesia kapasitas TPA telah terlampaui. Oleh sebab itu, diperlukan metode terbaik untuk mengatasi masalah sampah ini, yaitu antara lain dengan melalui proses dekomposisi di tempat asal, yaitu di rumah tangga, pasar, kompleks perkantoran, pusat perbelanjaan, kawasan bisnis, dsb. Umumnya masyarakat beranggapan bahwa mengolah limbah rumah tangga di rumah sendiri akan berakibat timbulnya polusi lain, yaitu polusi bau. Anggapan ini sering muncul tanpa didasari oleh pengalaman, melainkan hanya dugaan. Dugaan tersebut bisa jadi benar adanya apabila limbah yang dimaksud merupakan limbah yang tercampur aduk antara organik dan anorganik dengan kondisi pengelolaan yang sembarangan tanpa mengikuti kaidah yang benar. Buku ini berisi uraian tentang dekomposisi limbah organik menggunakan larva *Black Soldier Fly* (BSF), yaitu proses untuk mengolah limbah organik yang bebas polusi bau dengan metode yang benar. BSF adalah sejenis serangga dengan nama ilmiah *Hermetia illucens* L. dan termasuk dalam ordo Diptera. Larva BSF mampu mencerna limbah organik, terutama yang bertekstur lunak, hingga 50% total massa yang diberikan dalam waktu 7 hari. Semakin lunak teksturnya, semakin cepat proses dekomposisinya. Proses dekomposisi ini dapat berlangsung lancar, baik pada skala rumah tangga, maupun skala komunal. Larva BSF dapat hidup optimal pada suhu  $\pm 29^{\circ}\text{C}$  dan tersebar pada wilayah dalam rentang  $40^{\circ}$  Lintang Utara hingga  $45^{\circ}$  Lintang Selatan. Indonesia memiliki iklim yang cocok bagi perkembangan larva BSF. Siklus hidup BSF meliputi fase telur, fase larva, fase pre-pupa, fase pupa, dan fase lalat BSF yang secara keseluruhan berlangsung dalam waktu 30-32 hari. Keuntungan dari pengolahan limbah menggunakan larva BSF adalah hasil dari dekomposisi limbah organik tersebut, yaitu berupa protein dari larva BSF dan produk dekomposisi yang berupa kompos. Kandungan protein larva BSF dapat mencapai 40%, walaupun dalam sebagian penelitian hanya dapat mencapai 36%. Protein dari larva BSF dapat digunakan sebagai bahan pakan ternak, baik digunakan secara langsung, maupun melalui pengolahan lanjut. Kompos hasil dekomposisi limbah organik menggunakan larva BSF telah diuji dan memiliki kualitas yang baik sesuai SNI 19-7030-2004. Pengolahan limbah organik menggunakan larva BSF bisa menjadi solusi masalah pengelolaan sampah yang menjanjikan dan memiliki banyak keuntungan serta dapat diterapkan, baik dalam skala rumah tangga, maupun skala komunal di Indonesia.

