TA/TL/2021/1276

TUGAS AKHIR

KAJIAN LITERATUR PEMANFAATAN LARVA *BLACK SOLDIER FLY (HERMETIA ILLUCENS)* DALAM PENGOMPOSAN SAMPAH ORGANIK

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

FAJAR TRI JATMIKO

14513097

PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2021

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

TUGAS AKHIR

KAJIAN LITERATUR PEMANFAATAN LARVA *BLACK SOLDIER FLY (HERMETIA ILLUCENS)* DALAM PENGOMPOSAN SAMPAH ORGANIK

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana (S1) Teknik Lingkungan

FAJAR TRI JATMIKO

14513097

Disetujui,

Dosen Pembimbing:

Fina Binazir Maziya, S.T., M.T	**Yebi Yuriandala, S.T., M.Eng**
NIK : 165131305	**NIK : 135130503**
Tanggal**:** 24 Februari 2021	Tanggal:

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Lingkungan FTSP UII

Eko Siswoyo, S.T., M.Sc.ES., Ph.D

NIK : 025100406

Tanggal : 25 Februari 2021

HALAMAN PENGESAHAN

KAJIAN LITERATUR PEMANFAATAN LARVA *BLACK SOLDIER FLY (HERMETIA ILLUCENS)* DALAM PENGOMPOSAN SAMPAH ORGANIK

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Selasa
Tangggal : 22 Desember 2020

Disusun Oleh:

FAJAR TRI JATMIKO
14513097

Tim Penguji :

Fina Binazir Maziya, S.T., M.T **( )**
24-02-2021

Yebi Yuriandala, S.T., M.Eng **( )**

Dr. Ir. Kasam M.T **( )**

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sangsi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sangsi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, Februari 2021

Yang membuat pernyataan,

Fajar Tri Jatmiko

NIM: 14513097

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamiin, puji syukur kehadirat Allah *Subhanahu wa ta'ala* yang telah memberikan kemudahan, kesempatan, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: **"KAJIAN LITERATUR PEMANFAATAN LARVA BLACK SOLDIER FLY (HERMETIA ILLUCENS) DALAM PENGOMPOSAN SAMPAH ORGANIK"**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat bagi mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik. Banyak pihak yang memberikan bantuan dan masukan baik berupa moril dan materil. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Nabi Muhammad *shallallahu 'alaihi wasallam* sebagai tauladan, dan panutan bagi umat manusia.
2. Kedua orang tua serta kakak-kakak dan adik saya yang tak pernah berhenti mendoakan, memberi nasehat dan bantuan materi maupun moril selama ini.
3. Ibu Fina Binazur Maziya S.T., selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Yebi Yuriandala S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing pendamping atas segala bimbingan, arahan, dan dukungan sampai skripsi ini terselesaikan.
4. Bapak Dr.Ir.Kasam M.T., selaku dosen penguji atas arahan dan saran yang membangun sehingga tersusunnya skripsi ini.
5. Semua staff pengajar serta karyawan jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII yang banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Semua rekan-rekan saya yang mau meluangkan waktunya untuk membantu dan memberi semangat dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis berdoa semoga Allah *subhanahu wa ta'ala* membalas segala kebaikan dan diberikan keberkahan. Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna, oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis untuk dapat berkarya lebih baik lagi, dan membawa manfaat bagi orang lain yang membaca.

Wassalaamu'alaikum *Warahmatullahi Wabarakatuh*

Yogyakarta, ... Februari 2021

Fajar Tri Jatmiko

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

ABSTRAK

FAJAR TRI JATMIKO. Kajian Literatur Pemanfaatan Larva *Black Soldier Fly (Hermetia Illucens)* Dalam Pengomposan Sampah Organik.
Dibimbing Oleh FINA BINAZIR MAZIYA, S.T., M.T. dan YEBI YURIANDALA S.T., M.Eng.

Persoalan sampah khususnya sampah organik yang tertimbun di TPA dan belum terkelola dengan baik tentu menjadi masalah besar. Data menunjukkan bahwa persentase sampah organik yang belum terkelola cukup besar dan sangat disayangkan karena dapat mengurangi atau menghilangkan potensi dari mengelola sampah organik. Berangkat dari persoalan tersebut peneliti berharap penelitian pengomposan menggunakan Black Soldier Fly (BSF) ini dapat menjadi salah satu solusi alternatif dalam menangani persoalan tersebut. Konversi sampah organik menjadi kompos merupakan cara paling relevan untuk dalam menangani masalah ini, diantaranya yaitu konversi sampah organik menjadi kompos dengan bantuan larva BSF. Tujuan diakukannya penelitian ini adalah melakukan kajian terhadap pemanfaatan larva BSF dalam pengomposan serta melakukan kajian terhadap faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan larva dan dalam pengomposan sampah organik khususnya sampah sisa makanan, sampah sayur an sampah buah. Hasil kajian menunjukkan bahwa terdapat beberapa faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan larva serta terhadap pengomposan, diantaranya yaitu kadar air dari substrat dapat berdampak terhadap pertumbuhan larva. Kadar air terlalu rendah mengakibatkan substrat terlalu kering bagi larva untuk dimakan dan dapat memperlambat pertumbuhan larva, sementara kadar air yang terlalu tinggi pada pakan berdampak pada kondisi residu (produk), menyebabkan residu terlalu basah dan lengket sehingga sulit untuk dipisahkan. Peningkatan atau penurunan pH dapat disebabkan oleh aktifitas larva BSFL saat pengomposan. Tinggi atau rendahnya pH berpengaruh pada tingkat pertumbuhan larva serta proses pengomposan. Nilai optimal untuk pH adalah 6-10 dan minimal pH untuk larva hidup adalah 2. Tingkat reduksi material dipengaruhi oleh feeding rate jumlah pakan yang diberikan. Pakan yang terlalu banyak dan mengandung kadar air yang tinggi dapat memicu terciptanya kondisi anaerobik di dalam reaktor yang berdampak terhambatnya akses larva terhadap makanan dan mengakibatkan persentase reduksi sampah menurun. Faktor lain yang memepengaruhi tingkat reduksi sampah yaitu tingkat kematian larva dalam reaktor yang dipengaruhi oleh cocok atau tidaknya sumber makanan (sampah) yang diberikan. Kadar energi dan protein dalam substrat mempengaruhi ukuran dan perkembangan larva. Untuk nilai atau persentase Bio Conversion Ratio (BCR) itu sendiri dipengaruhi kadar VS (Volatile Solids) dan protein feeding rate. Semakin tinggi nilai atau persentase BCR menggambarkan tingkat konversi sampah organik menjadi kompos semakin tinggi dan pengomposan semakin optimal.

Kata kunci : *Black Soldier Fly*, Sampah Organik, Kompos

ABSTRACT

FAJAR TRI JATMIKO. Literature Study of Utilization of Black Soldier Fly (Hermetia Illucens) Larva in Organic Waste Composting.Supervised by FINA BINAZIR MAZIYA, S.T., M.T. and YEBI YURIANDALA S.T., M.Eng

The problem of waste, especially organic waste that has been buried in the TPA and has not been managed properly, is certainly a big problem. The data shows that the percentage of organic waste that has not been managed is quite large and it is very unfortunate because it can reduce or eliminate the potential of managing organic waste. Departing from this problem, the researchers hope that composting research using Black Soldier Fly (BSF) can be an alternative solution in dealing with this problem. The conversion of organic waste to compost is the most relevant way to deal with this problem, including the conversion of organic waste into compost with the help of BSF larvae. The purpose of doing this research is to study the utilization of BSF larvae in composting and to study the factors that affect larval growth and in composting organic waste, especially food waste, vegetable waste and fruit waste. The results of the study indicate that there are several factors that affect larval growth and composting, including the water content of the substrate which can have an impact on larval growth. Too low water content makes the substrate too dry for larvae to eat and can slow larval growth, while too high a moisture content in the feed has an impact on the residue (product) condition, making the residue too wet and sticky and difficult to separate. The increase or decrease in pH can be caused by the activity of BSFL larvae during composting. High or low pH affects the larval growth rate and the composting process. The optimal value for pH is 6-10 and the minimum pH for live larvae is 2. The rate of material reduction is influenced by the feeding rate of the amount of feed given. Too much feed and contains high water content can lead to the creation of anaerobic conditions in the reactor which hampers larvae access to food and results in decreased waste reduction percentage. Another factor that affects the level of waste reduction is the mortality rate of larvae in the reactor which is influenced by whether or not the food source (waste) is provided. Energy and protein levels in the substrate affect the size and development of larvae. The value or percentage of the Bio Conversion Ratio (BCR) itself is influenced by VS (Volatile Solids) levels and protein feeding rate. The higher the value or the percentage of BCR, the higher the conversion rate of organic waste into compost and the more optimal composting.

Keyword : *Black Soldier Fly, Organic Waste, Compost*

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI iii

DAFTAR TABEL iv

DAFTAR GAMBAR v

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 2

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Manfaat Penelitian 3

1.5 Ruang Lingkup 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5

2.1 Sampah Organik 5

2.2 Kompos 6

2.3 *Black Soldier Fly* (Hermetia illucens) 8

BAB III METODE PENELITIAN 17

3.1 Kerangka Penelitian 17

3.2 Metode Penelitian 16

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 20

BAB V 33

KESIMPULAN DAN SARAN 33

DAFTAR PUSTAKA 36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persentase Komposisi Sampah Kabupaten Sleman Periode 2017-2018.....5
Tabel 2.2 Perbandingan Sistem Komposting Aerobik dan Anaerobik.....6
Tabel 2.3 Standar Kualitas Kompos 8
Tabel 2.4 Referensi Penelitian Terdahulu..... 14
Tabel 3.1 Metode Analisis 20
Tabel 4.1 Perbandingan Metode Penelitian..... 24
Tabel 4.2 Volatile Solids (VS) di Dalam Limbah Padat Organik 26
Tabel 4.3 Efisiensi Pengomposan Terkait Parameter Fisik.....27
Tabel 4.4 Karakteristik Awal dan Akhir Pengomposan 29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Black Soldier Fly (BSF) Dewasa 9
Gambar 2.2 Siklus Hidup BSF 12
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 17
Gambar 4.1 Siklus Hiddup Black Soldier Fly 22
Gambar 4.2 Larva dan Residu 33

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya jumlah penduduk suatu daerah juga selaras dengan meningkatnya jumlah sampah yang dihasilkan. Jenis sampah yang dihasilkan dari waktu ke waktu juga semakin beragam sehingga perlu penanganan yang berbeda dari sampah lain. Berdasarkan data laporan tahunan dinas lingkungan hidup kabupaten sleman tahun 2019 tercatat sebanyak 2297,108 m3/hari (696 ton) yang bersumber dari seluruh TPS di kabupaten Sleman, dan sebanyak 646,91 m3/hari yang diangkut ke TPA dengan komposisi sampah organik sebesar 47% dan anorganik sebesar 53%. Adapun target komoditi sampah yang diteliti lebih berfokus kepada sampah organik berupa sampah sisa makanan, sampah buah dan sampah sayur yang bersumber dari sampah pasar, sampah domestik perumhan pemukiman serta sampah rumah makan atupun hotel. Satu sisi masalah serius dapat timbul dan di sisi lain dapat menyia-nyiakan potensi dari pemanfaatan sampah organik apabila dibiarkan begitu saja tanpa penaganan yang baik, diantara masalah yang bisa timbul yaitu terkait aroma tidak sedap serta merusak pemandangan. Sampah organik pada dasarnya bisa dan cenderung mudah untuk terdegradasi secara alami namun memerlukan waktu yang cukup lama dan dalam proses pengomposan diperlukan bantuan mikroorganisme. Pengolahan sampah organik menurut Pangestu dkk (2017) perlu dikembangkan untuk mengurangi dampak buruk dari terabaikannya sampah organik serta dapat memberi nilai tambah pada sampah organik.

Terdapat berbagai macam pemanfaatan maupun pengolahan sampah organik, diantaranya yaitu pemanfaatan sampah organik menjadi kompos. Selain mengurangi timbulan sampah dengan memanfaatkannya menjadi kompos, pengomposan sampah organik juga dapat memiliki nilai dari segi ekonomi. Kompos merupakan produk daur ulang sampah organik yang dapat dimanfaatkan sebagai media tanam sekaligus pupuk tanaman. Selain itu, pengolahan sampah menjadi kompos merupakan upaya yang turut membantu program pemerintah mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke TPA (Suryati, 2009).

Pengembangan teknologi dalam menangani permasalahan sampah khususnya sampah organik sudah cukup banyak. Diantara salah satu teknologinya yaitu pengomposan menggunakan organisme hidup yaitu larva *Black Soldier Fly* (BSF). Spesies BSF telah diteliti dapat mendegradasi berbagai macam sampah organik dengan larva BSF yang difungsikan sebagai agen degradasi untuk mengekstrak energi dan nutrien yang terkandung dalam sampah sayuran, sisa makanan, bangkai hewan dan kotoran sebagai bahan makanannya (Popa dan Green, 2012). Kompos merupakan produk akhir dalam proses degradasi sampah oleh larva BSF yang berasal dari kotoran larva dan sisa makanan selama pengomposan. Kandungan protein dan nutrisi yang tinggi pada larva BSF menjadikan larva BSF dapat digunakan sebagai substitusi bahan pakan untuk ternak.

Larva BSF dapat mendegradasi sampah padat maupun sampah cair. Larva BSF juga mudah untuk dikembangbiakkan yang didukung dari sifat alaminya yang tidak terlalu terpengaruh oleh musim meskipun larva lebih aktif pada kondisi yang hangat. Diener (2010) menyebutkan bahwa jumlah sampah yang dapat iolah atau didegradasi oleh larva BSF bisa mencapai 80% dari total sampah yang masuk. Sulistiyono (2016) dalam penelitiannya menggunakan reaktor maggot yang terdiri dari piring sebagai penampung cairan sampah yang dikomposkan, ember sebagai penampung larva-larva yang dipertahankan kering dan berdebu pada dinding reaktor agar larva tidak mudah keluar dari ember dan jaring yang digantungkan sebagai tempat pengomposan sampah basah.

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu kajian literatur terhadap beberapa penelitian terdahulu dengan fokus utamanya yaitu menganalisa faktor-faktor apa saja yang berpengaruh terhadap pengomposan serta menganalisa seberapa optimal metode pengomposan ini dengan memanfaatkan larva BSF untuk mengolah sampah organik. Dalam penelitian ini lebih difokuskan pada jenis sampah organik berupa sampah sisa makanan, sampah sayur dan sampah buah karena sampah-sampah tersebut merupakan tiga sumber sampah yang paling mudah dan sering dijumpai. Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif lain terkait pengolahan sampah organik yang dapat diterima serta diaplikasikan oleh masyarakat.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang di atas, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

a) Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi pertumbuhan larva dan proses pengomposan.
b) Bagaimana pengaruh nilai *Bioconversion ratio* (BCR), kadar *Volatile Solids* (VS) terhadap pertumbuhan larva dan terhadap proses pengomposan.
c) Bagaimana pengaruh *protein feeding rate* serta kandungan nutrien substrat berpengaruh terhadap perumbuhan larva BSF dan terhadap proses pengomposan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah :

a) Melakukan kajian terhadap beberapa faktor diantaranya sifat fisik dan kimia pada substrat.
b) Melakukan kajian terhadap nilai *Bioconversion ratio* (BCR), kadar *Volatile Solids* (VS)
c) Melakukan kajian terhadap nilai *protein feeding rate* serta kandungan nutrien dan kadar air substrat.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian diharapkan diperoleh manfaat sebagai berikut :

a) Memberikan manfaat dalam pengembangan penelitian *Black Soldier Fly* (BSF) dalam bidang pengolelolaan sampah orgnik
b) Memberikan solusi alternatif dalam menyelesaikan masalah persampahan khususnya timbulan sampah dengan pemanfaatan larva BSF sebagai agen dekomposisi sampah organik (sampah makanan, sampah buah dan sayur).
c) Memberikan sumbangan manfaat pada pendidikan masyarakat mengenai pengomposan sampah organik dengan pemanfaatan larva BSF.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah :

a) Penelitian maggot *Black Soldier Fly* sebagai agen degradasi dalam pengomposan sampah organik.
b) Penelitian ini menggunakan metode studi literatur.

c) Penelitian-penelitian yang dianalisa merupakan penelitian terkait *Black Soldier Fly* dalam pengolahan sampah organik (sampah makanan, sampah buah dan sayur).

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sampah Organik

Menurut Undang-undang nomor 18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, definisi sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat . Damanhuri (2010) mendefinisikan bahwa sampah adalah bagian dari bahan organik sebagian besar terdiri atas sisa makanan, kertas, kardus, plastik, tekstil, karet, kulit, kayu, dan sampah kebun. Dortmans (2017) menyatakan bahwa biowaste atau sampah organik adalah semua bahan yang dapat diuraikan dan tidak mencemari lingkungan. Pada dasarnya, sampah organik mudah diuraikan oleh proses alam.

Di Indonesia, istilah sampah sisa makanan belum diartikan secara khusus. Beberapa Negara seperti Amerika Serikat dan Benua Eropa sudah menjadikan sampah sisa makanan sebagai topik pengelolaan sampah yang dibahas secara khusus (Brigita dan Rahardyan, 2013). Mengacu *Food and Agriculture Organization* (FAO) sampah makanan adalah sampah yang dihasilkan dari proses memasak atau membuat makanan atau setelah memakannya yang berhubungan dengan penjual dan konsumennya.

Tabel 2.1 Jumlah volume dan komposisi sampah kebupaten Sleman berdasarkan sumber periode 2019

Sumber Sampah	**volume (m3/hari)**
Pasar	103,79
Sampah domestik pemukiman	852,78
Sampah industri	305,03
Sampah hotel	107,6
Sampah restoran	32,47
Lain – lain (RS, kantor, toko, taman)	211,18

Sumber : dinas lingkungan hidup kabupaten Sleman 2019

2.2 Kompos

Mengacu pada SNI 19-7030-2004 tentang "Spesifikasi Kompos Dari Sampah Organik Domestik", kompos adalah bentuk akhir dari bahan-bahan organik yang berasal dari sampah domestik setelah mengalami dekomposisi. Kompos yang dihasilkan dari dekomposisi sampah organik selain memiliki fungsi sebagai media tanam, penyubur tanah dan pupuk.

2.1.1 Komposting

Melalui penelitian yang dilakukan dengan membandingkan cara pembuatan kompos dengan udara (aerobik) dan tanpa udara (anaerobik) yang dilakukan oleh Sir Albert Howard di tahun 1930 di India, maka akhirnya disimpulkan bahwa komposting secara aerobik memiliki berbagai keuntungan yang tidak dimiliki komposting secara anaerobik (Wahyono dkk, 2002). Berikut adalah perbandingan komposting secara aerobik dan anaerobik :

Tabel 2.2 Perbandingan Sistem Komposting Aerobik dan Anaerobik

No	Komposting aerobik	Komposting anaerobik
1	Proses berlangsung lebih cepat (6-7) minggu	Proses dapat berlangsung 24 minggu atau lebih
2	Proses tidak menghasilkan gas yang berbau	Proses menghasilkan gas yang berbau
3	Proses dapat memberikan efek, misal pasteurisasi	Proses tidak memberikan efek (tetap dingin)
4	Proses dapat menguraikan material sampah yang mengandung selulosa	Tidak dapat mengolah sampah yang mengandung selulosa

Mikroorganisme yang terlibat dalam proses pengomposan dibedakan menjadi dua, yaitu :

1) Mikroba mesofilik memiliki peran dalam proses penguraian senyawa-senyawa kimia yang terdapat pada permukaan bahan. Mikroba mesofilik hidup pada suhu dibawah 45°C. Sedangkan,
2) Mikroba termofilik adalah mikroba yang hidup pada suhu diatas 45°C, sehingga pada saat terjadi reaksi penguraian yang berjalan cepat berakibat pada meningkatnya suhu antara 55-75°C

Tercapainya suhu yang tinggi adalah penting untuk meminimalisir hadirnya bibit gulma dan bakteri *patogen (seperti E. Coli dan Salmonella)* pada produk kompos (Tchobanoglous dkk, 1993). Berikut beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk menjaga keberlangsungan hidup mikroba yang berperan saat komposting :

1) Sampah diaduk (dalam kurun waktu tertentu) dengan tujuan agar suplai oksigen cukup.
2) Menjaga tingkat kelembaban yang cukup dengan cara menyiramkan air secukupnya atau dengan menambahkan media yang bisa menyimpan air seperti serabut kelapa.

Berdasarkan SNI 19-7030-2004 tentang Spesifikasi Kompos Dari Sampah Organik Domestik, kompos dinyatakan matang apabila memiliki karakteristik sebagai berikut :

1) C/N - rasio mempunyai nilai (10-20) : 1
2) Suhu sesuai dengan dengan suhu air tanah.
3) Berwarna kehitaman dan bertekstur seperti tanah.
4) Berbau tanah.
5) Tidak mengandung bahan asing seperti semua bahan pengotor organik atau anorganik seperti logam, gelas, plastik dan karet dan pencemar lingkungan sseperti senyawa logam berat, limbah B3 dan kimia organik seperti pestisida

Tabel 2.3. Standar Kualitas kompos

No	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum
1	Kadar Air	%	-	50
2	pH	-	6,8	7,49
3	Bau			Berbau tanah
4	Warna			Kehitaman
5	Besar Partikel	Mm	0,55	25
6	Suhu		-	Suhu air tanah
7	Bahan Asing	%	*	1,5
	Unsur Makro			
8	Bahan Organik (Organic Matter)	%	27	58
9	Nitrogen	%	0,4	-
10	Karbon	%	9,8	32
11	Fosfor (P_2O_5)	%	0,1	-
12	C/N-rasio		10	20
13	Kalium (K_2O)	%	0,2	*
Keterangan : * Nilainya lebih besar dari minimum atau lebih kecil dari maksimum				

Sumber : Badan Standarisasi Nasional 2004

2.3 *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*)

Mengutip dari Ham (2011) *Black Soldier Fly* (BSF) dengan nama latin *Hermetia illucens* merupakan spesies lalat dengan ordo *Diptera*, famili *Stratiomyidae* dan genus *Hermetia*. Habitat awal lalat tentara hitam (*Black Soldier Fly*) adalah benua Amerika lalu tersebar hampir di seluruh dunia dengan koordinat diantara 45° Lintang Utara dan 40°

Lintang Selatan (Diener, 2010). Ekosistem alami dari spesies lalat BSF yang ditemukan di Indonesia berada di sekitaran daerah Maluku dan Irian Jaya (Hem, 2011).

Salah satu keunggulan yang sangat diperlukan dalam pengomposan adalah kemampuan dalam mengurai materaial (sampah), dan lalat tentara hitam (*Black Soldier* Fly) memiliki kemampuan yang sangat baik dalam penguraian material bahan organik.kelebihan lain dari spesies ini yaitu dapat mengekstrak energi dan nutrien dari berbagai jenis substrat (sampah) khususnya substrat organik (sampah organik) (Popa dan Green, 2012). Dari sedikit kelebihan yang penulis sebutkan diatas menjadikan spesies lalat tentara hitam (BSF) ini mulai diminati dalam pengelolaan sampah organik dan juga sudah banyak dilakukan penelitian terkait spesies ini khususnya dalam pengomposan sampah organik dengan metode aerobik.

Gambar 2.1 Lalat Tentara Hitam (*Black Soldier Fly*) Dewasa

(Sumber : Eawag, 2017 dalam Black Soldier Fly Biowaste Processing a step-by-step guide)

Selain dapat hidup di kondisi lingkungan yang cukup ekstrim spesies ini juga dapat mendegradasi jenis sampah padat maupun cair, tidak mudah terpengaruh oleh mikroorganisme lain serta tidak mudah terjangkit parasit menjadikan spesies BSF sangat perpotensi untuk dikembangbiakkan (Popa dan Green, 2012).

2.1.1 Siklus Hidup *Black Soldier Fly* (BSF)

Siklus hidup spesies lalat tentara hitam (*Black Soldier Fly*) terbagi menjadi empat fase (tahapan), yaitu fase telur, fase larva, fase pupa, dan fase lalat dewasa (Popa dan Green, 2012). Lalat tentara hitam (*Black Soldier Fly*)memiliki siklus hidup sekitar 40 hari terhitung dari penetasan sampai dewasa kemudian mati, rentang waktu

siklus hidup BSF juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan hidup dan ketersediaan makanan (Alvarez, 2012).

a) Fase Telur

Lalat betina dapat memproduksi telur sekitar 300-900. Lalat dewasa meletakkan telur di tempat yang cenderung gelap seperti celah diantara substrat organik atau sampah organik yang sudah membusuk dengan tujuan ketika telur menetas larva dapat langsung memperoleh makanan. Berikut karakteristik dari telur BSF :

1) Besar ukuran telur sekitar 0.04 inci atau < dari 1 mm
2) Bobot setiap telur sekitar 1-2 μg (mikro gram)
3) berbentuk oval dengan warna putih krem kekuningan dan
4) bertekstur agak lengket.

Lingkungan dengan suhu 28°-35° C cenderung lebih optimal untuk telur bisa menetas, jika suhu lingkungan dibawah 25°C telur tetap menetas namun dalam dalam waktu yang lebih lama dari waktu rata-rata (bisa lebih dari 4 hari), bahkan dapat mencapai 2-3 minggu untuk menetas karena pengaruh lingkungan. Tingkat kelembaban optimal agar telur menetas dengan kondisi yang baik adalah sekitar 30-80 %.

b) Fase Larva

Larva BSF memeliki beberapa karakteristik diantaranya :

1) Larva yang baru menetas berukuran sekitar 0.07 inci (1.8 mm).
2) Larva BSF bersifat fotofobia yaitu lebih menyukai tempat yang minim cahaya. Pada tahap ini larva muda sangat rentan terhadap faktor eksternal, di antaranya terhadap suhu, tekanan oksigen yang rendah, jamur, kandungan air, dan bahan beracun.
3) Larva berusia tujuh hari meiliki ukuran sekitar 5-10 mg dan memiliki ketahanan yang lebih baik seperti tingkat toleransi yang lebih baik terhadap suhu yang lebih rendah (< 20°C) ataupun tinggi (> 45°C) jika cadangan makanan melimpah.

Larva mampu bersaing dengan larva lain yang lebih tua dalam inkubator pengembangbiakan setelah berumur sekitar 10 hari. Larva BSF

mengalami 5 kali pergantian kulit (instar) dengan warna awal putih agak kekuningan hingga berwarna cokelat kehitaman (Popa dan Green, 2012).

c) Fase Pupa

Pada tahap ini, larva berubah menjadi pupa, diantara ciri-ciri larva menuju tahap pupa adalah :

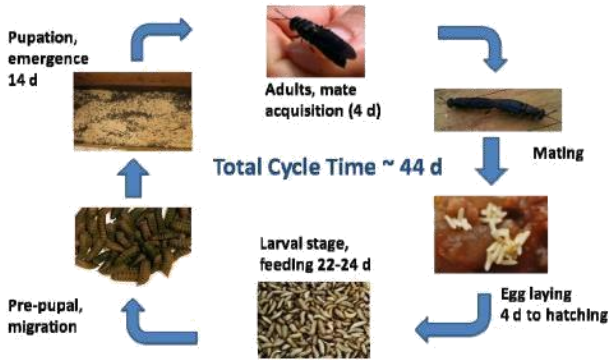
1) Sudah berganti kulit hingga instar yang keenam yang memiliki tekstur sedikit kasar dan berwarna cokelat kehitaman.
2) Prepupa mencari tempat yang lebih kering dan gelap untuk berubah menjadi kepompong dan bersifat pasif.
3) Ukuran pupa sekitar 2/3 (dua per tiga) dari ukuran pre-pupa
4) Ketika menjadi pupa, bagian mulut pupa (labrum) akan membengkok ke bawah yang berfungsi sebagai kait bagi kepompong.

Perubahan pupa menjadi lalat dewasa berlangsung selama 10 hari atau bahkan beberapa bulan tergantung pada kondisi lingkungan.

d) Lalat Dewasa

Berikut adalah beberapa karakteristik BSF dewasa:

1) Tubuh BSF berwana hitam dengan kaki berwana putih pada bagian bawah dan memiliki antena (terdiri dari tiga segmen) dengan panjang tubuh 12-20 mm dengan rentang sayap selebar 8-14 mm, BSF betina lebih besar dari BSF jantan dengan rentan hidup 4-8 hari.
2) BSF dewasa memanfaatkan cadangan energi dari lemak yang tersimpan selama fase larva untuk hidup. Hal ini membuat lalat BSF tidak digolongkan sebagai vektor penyakit.
3) BSF dewasa hanya berperan untuk proses reproduksi. BSF dewasa mulai dapat kawin setelah berumur 2 hari.



Gambar 2.2 Siklus Hidup BSF

(Sumber : Alvarez, 2012)

Lalat tentara hitam (BSF) tidak termasuk dalam kategori hama dan yang lebih penting, spesies ini merupakan salah satu jenis lalat yang memiliki timgkat risiko penyebaran terhadap penyakit (*Vector Desease)* lebih rendah dari jenis lalat lain (Bullock dkk., 2013). Salah satu keuntungan menggunakan lalat tentara hitam (BSF) dalam pemanfaatan sampah organik untuk komposting adalah tidak lagi diperlukan pemisahan sampah antara sampah hewani dan sampah nabati karena larva dari spesies BSF ini cenderung memakan berbagai jenis sampah khususnya sampah organik baik yang berasal dari hewan ataupun yang bersal dari tumbuhan (Bullock dkk, 2013). Penelitian yang dilakukan Žáková dan Borkovcová (2013) dengan skala laboratorium menunjukkan bahwa larva BSF dapat mereduksi sampah organik (sampah sisa makanan) sebesar 46,04 % dari total volume sampah awal.

2.1.2 Reduksi Sampah Organik dengan Larva Lalat Tentara Hitam / *Black Soldier Fly* (BSF)

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Diener (2010) tingkat reduksi sampah oleh larva lalat tentara hitam (BSF) dapat mencapai 55% dari total volume awal sampah. Alvarez (2012) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa larva lalat tentara hitam (BSF) tidak memiliki waktu atau jam kerja yang menentu dalam mendegradasi makanannya dimana mereka tidak memiliki jam istirahat yang jelas teteapi larva lalat tentara hitam (BSF) juga tidak makan sepanjang waktu. Ketika larva mencapai fase larva dewasa atau larva yang lebih tua dan matang, larva mampu mengurai sampah organik dengan lebih cepat dan menekan pertumbuhan bakteri yang dapat menghasilkan bau yang tidak sedap.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam mereduksi sampah organik menggunakan larva lalat tentara hitam (BSF) yaitu :

1) Pola makan larva

   Dalam proses memakan makanan dilakukan searah horizontal dengan makanannya dan bergerak secara vertikal untuk mengekstrak nutrient pada lindi yang dihasilkan dari proses pembusukan sampah organik yang diberikan.

2) Kadar oksigen

   Dibutuhkan kadar oksigen dan karbondioksida yang cukup dalam reaktor kompos. Kondisi reaktor dengan kadar karbondioksia yang terlalu tinggi dapat memicu larva untuk mencari oksigen dengan cara keluar dari reaktor, dalam kondisi larva belum mulai berubah menjadi prepupa.

3) Kadar air sampah

   Waktu konsumsi larva terhadap sampah yang diberikan dipengaruhi kadar air di mana kondisi optimum sekitar 60-90%. Tempat yang lebih kering atau sedikit basah lebih disukai larva daripada tempat dengan kadar air tinggi yang bisa menyebabkan larva keluar dari rekator.

4) Ketersediaan cahaya

   Larva BSF cenderung menyukai tempat dengan intensitas cahaya minim atau gelap karena larva BSF tergolong hewan fotofobia. Dalam proses perubahan menjadi kepompong, prepupa cenderung mencari yang kering dan gelap.

Larva lalat tentara hitam (BSF) dapat tumbuh dengan baik dan matang dalam kurun waktu sekitar dua minggu pada kondisi lingkungan yang ideal dan ketersediaan makanan yang cukup. Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi pertumbuhan larva dan kapasitas reduksi sampah, yaitu :

1) Konsentrasi kandungan Zn

   Tingginya konsentrasi kandungan Zn pada substrat (sampah) dan kurangnya kadar oksigen dalam reaktor yang dapat memicu terjadinya kondisi anaerob dalam reaktor dapat meningkatkan persentase kematian larva atau menurunnya tingkat bertahan hidup dari larva (*survival rate).*

2) Suhu

Lingkungan dengan suhu 25-36° C merupakan suhu yang tepat untuk larva lalat tentara hitam dapat tumbuh dengan optimal, diluar rentan suhu tersebut larva tetap dapat tumbuh namun berpotensi menurunkan persentase tingkat pertumbuhan larva dan kapasitas reduksi sampah.

3) Ukuran Partikel atau ukuran sampah

Ukuran partikel atau ukuran sampah organik yang digunakan sebagai sumber makanan untuk larva lalat tentara hitam (BSF) dapat mempengaruhi kecepatan larva dalam mengurai sampah organik. Untuk memaksimalkan potensi larva dalam penguraian sampah organik sebaiknya dilakukan reduksi terhadap ukuran sampah dengan mencacah sampah sekecil mungkin.

Berikut adalah beberapa referensi yang digunakan sebagai acauan dalam penelitian ini :

Tabel 2.4. Referensi Penelitian Terdahulu

No	Peneliti, Tahun, Judul	Tujuan Utama	Metode	Hasil
1	Elvita Sari Saragi, 2015, Penentuan *Optimal Feedng Rate Larva Black Soldier Fly (Hermetoa Illucens)* dalam Mereduksi Sampah Organik Pasar	1) Menentukan kemampuan larva BSF dalam mereduksi sampah organik biodegradable pasar. 2) Menentukan pengaruh tingkat pertumbuhan larva BSF berdasarkan komposisi jenis sampah dan feeding rate yang dilakukan. 3) Menentukan karakteristik hasil dekomposisi sampah organik biodegradable	1) Metode penelitian dilakukan dengan skala laboratorium. 2) Terdapat perbedaan perlakuan dari segi *feeding rate* larva BSF. 3) Terdapat perbedaan variasi sampah yang diberikan utnuk larva BSF.	1) Persentase dekomposisi sampah organik pasar oleh larva BSF diperoleh kombinasi sampah sayur:buah memiliki tingkat reduksi paling tinggi dengan rata-rata 51,91% reduksi. 2) pertumbuhan larva paling optimal diperoleh pada komposisi sampah sayur:buah

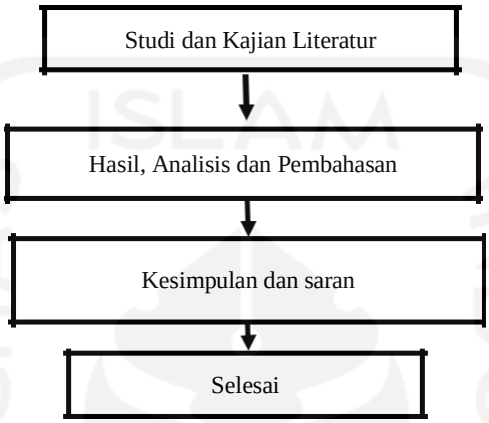
		yang dilakukan oleh larva BSF		dengan feeding rate 60 mg/larva.hari 3) semakin kecil feeding rate yang dilakukan maka semakin kecil tingkat pertubuhan larva. 4) Hasil dekomposisi sampah menunjukkan sebagian besar rasio C/N naik disebabkan penurunan kadar N total organik residu sampah.
2	Anshika Singh, Kanchan Kumari, 2019, *An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review*	1) Mengetahui efisiensi larva BSF untuk komposting berbagai jenis limbah organik atau biomassa 2) Mengetahui berbagai aplikasi akhir yang mungkin bisa diterapkan	1) Dilakukan eksperimen terhadap sumber pakan larva yang beragam	1) Efisiensi pengolahan sampah organik oleh larva BSF sebesar 50-78% dari berat awal.
3	Adeline Mertenat, Stefan Diener, Christian Zurbürgg, 2019, *Black Soldier Fly biowaste treatment-Assessment of global warming potensial*	1) Untuk melakukan *life cycle assessment (LCA)* dari *treatment* oleh BSF dan membandingkan dengan *treatment* biowaste komposting dan pengaruh keduanya terhadap potensi pemanasan global.	1) Dilakukan variasi waktu feeding 2) Dilakukan sampling gas (udara) dalam reaktor setiap hari	1) Ketika pertimbangan emisi as rumah kaca, hasil emisi dari treatment biowaste oleh BSF lebih rendah dibanding komposting konvensional.

4	Sunil Kumar, Suraj Negi, Ashootosh Mandpe, Ran Vijay Singh, Athar Hussain, 2019, *Rapid composting techniques in indian context and utilization of black soldier fly for enhanced dcomposition of biodegredable waste- A comprehensive review*	1) Mengetahui tingkat efektifitas pengolahahn limbah *bioegredable* dari berbagai metode komposting oleh beberapa organisme.	1) Dilakukan perbandingan studi terkait pengolahan limbah *biodegredable* menggunakan berbagai metode menggunakan berbagai organisme.	1) Larva BSF dapat menjadi salah satu pilihan utama dalam mengolah limbah *biodegredable*.
5	Firman Aziz Nugraha, 2019, Analisis Laju Penguraian dan Hasil Kompos Pada Pengolahan Sampah Sayur dengan Larva Black Soldier Fly (BSF)	1) Mempelajari laju umpan oleh larva BSF dengan vaiasi pemberian umpan (60, 80, 100 mg/larva/hari) selama 19 hari.	1) Pengomposan menggunakan reaktor continuous flow bin 2) Diberikan perlakuan berbeda pada variasi berat (gr) pemberian umpan untuk larva ((60, 80, 100 mg/larva/hari) selama 19 hari	1) Laju pengolahan sampah dan efisiensi konversi pakan dari pengilahan sampah organik pasar oleh larva BSF paling optimum di pemberian umpan 60 mg/larva/hari 2) Nilai parameter yang dihasilkan yaitu konsumsi umpan 73,98 %, WRI(*waste reduction index*)4,03% per hari, ECD (*efficiency of conversion of digested feed*) 7,30 %

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Penelitian

Penelitian ini selama 6 bulan dimulai dari bulan Januari-Juli 2020. Berikut adalah dagram alir tahap penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahap Penelitian

Ide dari dilaksanakannya penelitian ini berangkat dari masih sangat banyaknya organik yang belum terolah dan berakhir di TPA serta masih kurangnya minat dan upaya pemanfaatan sampah organik oleh pemerintah maupun masyarakat setempat. Sementara di berbagai tempat baik di dalam ataupun luar negeri sudah mulai melakukan upaya pemanfaatan sampah organik, salah satunya yaitu dengan memanfaatkan larva *Black Soldier Fly* (BSF) sebagai agen degradasi dalam mereduksi sekaligus megelola sampah organik.

3.2 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan metode kajian literatur dari penelitian-penelitian terdahulu. Kajian literatur ini seluruhnya bersumber dari data sekunder yang dapat diakses secara resmi. Penulis berusaha mengumpulkan beberapa literatur resmi yang dapat diakses yang berkaitan dengan BSF, lebih khusus pada treatment limbah organik dengan larva BSF. Penulis mengambil seluruh sumber data atau literatur pada situs resmi yaitu *Science Direct*, Dspace UII dan *Google Scholar*. Target literatur yang dipilh yaitu yang publish pada tahun 2017-2020. Alasan dipilihnya

literatur dalam rentan waktu tersebut agar informasi yang didapat merupakan informasi yang masih tergolong *update* dengan harapan masih cocok untuk diaplikasikan.

3.3 Parameter yang dikaji

3.3.1 Analisis Efektivitas Larva

Dilakukan analisis dan kajian terkait beberapa parameter diantaranya yaitu indeks pengurangan sampah, biomassa larva, konsumsi umpan dan efisiensi umpan tercerna.

3.3.1.a Indeks Pengurangan Limbah (*Waste Reduction Index* / WRI) Oleh Larva

Indeks pengurangan sampah dapat dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu tingkat degradasi sampah dan waktu degradasi sampah. Adapun tingkat degradasi sampah dapat dipengaruhi oleh jumlah sampah awal sebelum terdegradasi dan jumlah sampah sisa yang tidak terdegradasi oleh larva. Dalam penelitiannya, Diener (2010) mendefinisikan indeks pengurangan limbah atau tingkat reduksi sampah oleh larva lalat tentara hitam (BSF) sebagai *waste reduction.*

3.3.1.b Konsumsi Umpan

Definisi dari konsumsi umpan yaitu persentase banyaknya pakan atau sampah yang dikonsumsi oleh larva lalat tentara hitam (BSF). Konsumsi umpan adalah selisih berat pakan yang diberikan setelah beberapa hari dengan berat pakan awal (Diener dkk, 2009).

3.3.1.d Biomassa Larva

Biomassa larva adalah bobot selisih berat larva akhir dikurang berat larva awal dan dibagi dengan berat larva awal yang diukur untuk mencari berat rata-rata larva setiap beberapa hari.

3.3.2 Analisis Unsur Hara

Beberapa parameter terkait kualitas kompos yang dianalisi dan di kaji pada penelitian ini diantaranya yaitu suhu (*temperature)*,nilai pH, kadar air, kadar karbon (C), kadar Nitrogen (N), kadar fosfor (P), kadar kalium (K) dan rasio karbon terhadap nitrogen di akhir pengomposan (rasio C/N).

3.4 Analisa dan Pembahasan

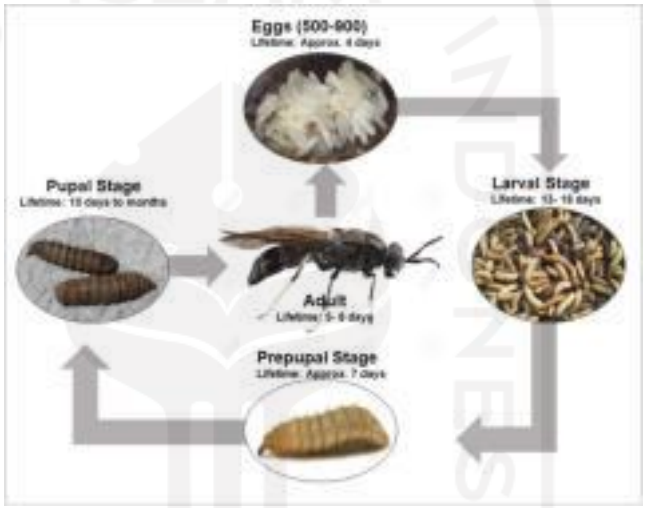
Data yang diperoleh dari penelitian-penelitian terdahulu dianalisis oleh penulis diantaranya yaitu terkait metodologi pengomposan, faktor-faktor yang mempengaruhi pengomposan, faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan larva BSF. Analisis dan kajian data dilakukan terhadap beberapa parameter diantaranya suhu (temperature),nilai pH, kadar air, kadar karbon (C), kadar Nitrogen (N), kadar fosfor (P), kadar kalium (K) dan rasio karbon terhadap nitrogen di akhir pengomposan (rasio C/N) serta beberapa parameter fisik seperti tingkat reduksi material, tingkat pertumbuhan larva, nilai *biomass conversion ratio* (BCR) dan *feeding rate*.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil kajian

Penelitian dengan metode studi literatur ini memiliki tujuan utama yaitu meneliti tentang BSF (*Black Soldier Fly*) terkait pengelolaan limbah padat berupa sampah organik. Adapun dalam bab ini dibahas beberapa poin terkait hasil penelitian diantaranya :

4.2 Pengenalan singkat BSF (*Black Soldier Fly*) dan potensi pengolahan



Gambar 4.1. Siklus Hidup Lalat Tentara Hitam (*Black Soldier Fly*)
Sumber gambar : Anshika Singh dan Kanchan Kumari, 2019

Meningkatnya populasi penduduk bumi khusunya manusia juga meningkatkan jumlah kebutuhan dari berbagai aspek, salah satunya yaitu aspek terhadap kebutuhan sumberdaya pangan yang pada akhirnya menimbulkan sampah padat yang apabila tidak dikelola dengan baik dan tepat dapat berdampak buruk bagi sektor lingkungan khususnya. Menurut (FAO) *Food and Agriculture Organization* terdapat sekitar 1,3 juta ton makanan diproduksi setiap tahun dimana sepertiganya merupakan sampah sisa makanan dari mausia (FAO, 2011).

Untuk menghadapi permasalahan tersebut terdapat beberapa alternatif pengelolaan sampah padat khususnya sampah organik, salah satu

treatment yang sedang naik daun dalam pengelolaan sampah organik yaitu treatment menggunakan bantuan serangga yatu larva *Black soldier Fly* (BSF). Menurut Sheppard dkk (1994) teknologi treatment sampah menggunakan larva BSF merupakan teknologi yang mengintegrasikan tiga bidang yaitu, pengomposan sampah, pemulihan nutrisi dan segi ekonomi dalam aplikasinya. Mulai diminatinya pengelolaan sampah organik oleh BSF merupakan salah satu teknologi alternatif yang cukup bagus dan menjajikan jika dilihat dari beberapa aspek seperti biaya yang rendah (*low cost*), kebutuhan lahan minim, pemeliharaan mudah (*easy maintenance*), pengoperasian yang mudah dan sederhana dan memiliki potensi ekonomi bila dibandingkan dengan teknologi-teknologi lain. Tercatat bahwa topik penelitian terkait pengolahan sampah organik menggunakan BSF berada di angka 173 publikasi di tahun 2014-2018 (Scopus, 2018). Beberapa potensi larva BSF dalam pengelolaan sampah organik, diantaranya yaitu :

- BSF dapat digunakan untuk mengolah berbagai jenis sampah organik
- Menurut Diener dkk (2011) dalam penelitiannya, total reduksi sampah dapat mencapai 65-78%
- Tingkat efisiensi pengelolaan serta bio-konversi (BCR) cukup tinggi
- Selain dapat dijadikan kompos, produk akhir lain juga dapat dijadikan sebagai sumber pakan hewan
- Mengurangi bakteri berbahaya seperti *E. coli* dan *Salmonella enterica*
- Spesies BSF bukan penyebar vektor penyakit

Beberapa poin di atas yang bisa disebut sebagai kelebihan-kelebihan yang dimiliki oleh BSF yang telah diteliti dan ditemukan oleh banyak peneliti hingga saat ini dan tidak menutup kemungkinan di masa yang akan datang akan ada penemuan-penemuan penting lainnya terkait

BSF yang diharapkan dapat membantu menyelesaikan permasalahan smapah khususnya sampah organik.

4.3 Metode penelitian pengomposan menggunakan BSF

Terkait metode penelitian, penulis telah membaca beberapa jurnal maupun literatur mengenai metode penelitian pengelolaan sampah oleh BSF diantaranya :

Tabel 4.1. Perbandingan Metodologi Penelitian

	Literatur 1	**Literatur 2**	**Literatur 3**
Metode	• Desain proses a) Penelitian dilakukan secara *triplicate* b) Larva BSF yang digunakan berumur 10 hari setelah menetas c) Menggunakan 11 jenis substrat yaitu pakan unggas, pakan anjing, sampah makanan, buah & sayur, libah rumah potong hewan, limbah buah & sayur, kotoran unggas, kotoran manusia, primary sludge, undigested sludge dan digested sludge	• Desain proses : a) Larva BSF yang digunakan yang berumur 5 hari setelah menetas b) Menggunakan satu jenis substrat yatu sampah buah c) 3000 ekor larva untuk setiap reaktor d) Feeding rate yang digunakan yaitu 60, 80 dan 100 mg/larva.hari e) Mengguanakan 3 wadah plastik bebentuk persgi panjang berakapasitas 7 kg f) Pemberian pakan setiap 3 hari	• Desain proses a) Menggunakan tiga jenis substat yaitu sampah sayur, sampah buah dan sampah ikan b) Penelitian dilakukan 2 kali pengulangan c) Larva yang digunakan berumur 7 hari setelah menetas d) Setiap reaktor diberi 200 larva BSF e) Menggunakan reaktor berbentuk tabung dengan volume 1L x 24 buah

	d) Menggunakan wadah plastik berbentuk persegi panjang e) Suhu 28°C dan sebanyak 200 larva diletakkan di setiap wadah f) Pemberian pakan dilakukan setiap dua atau tiga hari. g) Penelitian dilakukan selama kurang lebih 40 hari	g) Penelitian dilakukan selama 19 hari	f) *Feeding rate* untuk setiap jenis sampah yaitu 20,40,60 mg/larva.hari g) Pemberian pakan dilakukan setiap hari h) Penelitian dilakukan selama 21 hari

Dari beberapa penelitian terdahulu terkait metode penelitian pengomposan sampah organik menggunakan larva BSF, penulis mencoba menyimpulkan metode yang digunakan. Secara garis besar setidaknya ada beberapa fase dalam melakukan pengomposan sampah organik menggunakan larva BSF, diantaranya :

1) Fase transport atau input material

   Fase ini dilakukan transport sampah organik (substrat) yang nantinya diolah menuju tempat pengolahan.

2) Fase persiapan substrat atau sampah organik

   Fase ini meyiapkan sampah organik agar siap untuk diolah. Pada fase ini dilakukan pemilahan sampah yang memilki potensi untuk diolah kemudian diperkecil ukurannya dengan cara dicacah.

3) Fase persiapan larva BSF

Pada fase ini telur larva ditetaskan dalam kondisi lingkungan yang telah disiapkan. Setelah berumur 4-5 hari, barulah larva ditempatkan didalam wadah untuk memulai proses pengomposan,

4) Fase komposting

Fase komposting berlangsung didalam wadah dengan kondisi lingkungan yang sudah diatur suhu, kelembaban, cahaya dan sumber pakannya serta perlakuan pemberian pakan. Pengomposan dihentikan apabila semua larva sudah berubah menjadi prepupa.

5) Fase panen

Pada fase ini kompos yang sudah matang kemudian dipanen. Diawali dengan pengayakan yang bertujuan memisahkan hasil produk dengan residu yang belum terolah. Hasil akhir yang telah terkumpul kemudia dianalisis terkait beberapa parameter apakah sudah sesuai dengan standar atau belum.

4.4 Faktor yang berpengaruh terhadap pertumbuhan perkembangan larva BSF dan pengomposan

a) Kadar air

Tingkat pertumbuhan dapat dipengaruhi oleh kadar air dari substrat atau sampah itu sendiri (Cheng dkk, 2017) namun tidak mempengaruhi tingkat bertahan hidup (*survival rate*) (jack dkk, 2017). Menurut Diener dkk (2011) bahwa dalam penelitian-penelitian terdahulu dikatakan bahwa kadar air yang berlebihan dapat menghalangi atau mengganggu proses dekomposisi, hasil kompos dan sisa kompos (*residue*) serta dapat berakibat mempersulit proses-proses selanjutnya seperti pengayakan. Kadar air yang optimal berkisar 70-80% (Dortmans dkk, 2017).

b) Suhu (temperatur)

Temperatur atau suhu juga berpengaruh terhadap tingkat pertumbuhan dan bertahan hidup larva BSF. Pengendalian suhu yang tepat dapat mengoptimalkan tingkat pertumbuhan dan tingkat survival larva BSF. Dalam eksperimen yang dilakukan oleh Myers

dkk (2008), Diener dkk (2009), Li dkk (2011), Harnden and Tomberlin (2016) diperoleh tingkat pertumbuhan dan tingkat bertahan hidup larva BSF cenderung lebih optimal pada suhu 27-28 C.

c) pH

nilai pH yang optimal untuk untuk pertumbuhan larva yaitu 6-10, sedangkan pH minimal agar larva dapat tumbuh yaitu 2 (Ma dkk, 2018)

d) Cahaya matahari

Peranan cahaya matahari sangat vital bagi BSF terutama pada masa kawin atau reproduksi (Park, 2016)

e) Pakan (substrat)

Tingkat pertumbuhan dan tingkat bertahan hidup larva juga dipengaruhi oleh substrate atau pakan yang diberikan, mulai dari jenis, *feeding rate*, kadar bahan organik (OM) serta kandungan lainnya seperti rasio kadar C/N, dimana kadar rasio C/N yang baik dapat mendukung proses metabolisme yang baik pada larva.

f) Biomassa konversi rasio (BCR)

Biomassa adalah sebuah istilah yang digunakan untuk menyebut semua senyawa organik yang berasal dari berbagai macam sumber diantaranya yaitu tanaman, alga bahkan limbah atau sampah termasuk sampah organik. Definisi dari konversi biomassa yaitu mengubah atau mengkonversi biomassa dengan proses tertentu menjadi energi atau produk lain dengan tujuan manfaat tertentu.

g) Volatil solid (VS)

Kadar VS pada substrat merupakan representasi jumlah fraksi organik yang mudah terurai dalam substrat serta memiliki peran dalam banyaknya biogas yang terbentuk oleh proses pengomposan dalam substrat. Kadar VS juga merupakan salah satu faktor penting dalam pertumbuhan larva.

Tabel 4.2. Volatile Solids (VS) di dalam limbah padat organik

Jenis Substrat	**VS (%)**	**sumber**
Sampah sayuran	76-90	Deublein dan Steinhauser (2011)
Sampah buah-buahan	75-85	Gunaseelan (2004)
Sampah pasar	75-90	Deublein dan Steinhauser (2011)
Sampah dapur	50-70	Eder dan Schulz (2007)
Sisa makanan (kantin)	75-98	Deublein dan Steinhauser (2011)

Sumber : BPSDM (Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia), kementrian PU, (2018)

h) *Feeding rate dan* frekuensi pemberian pakan

Frekuensi pemberian pakan dan *feeding rate* memberikan dampak yang besar terhadap efisiensi pengomposan.

i) Kandungan nutrisi substrat

Kandungan nutrisi substrat tentu berpengaruh terhadap perumbuhan larva maupun penomposan. Beberapa kandungan substrat yang cukup penting perannya yaitu kadar karbon, kadar nitrogen dan kandungan protein.

4.6 Efek larva BSF dalam pengomposan

a) Efisiensi pengomposan :

I. Efisiensi proses : BCR (*biomass conversion ratio*)
Konversi protein
Material reduction (reduksi material)

II. Larva : *survival rate*
Tumbuh kembang larva

Tabel 4.3. Efisiensi Pengomposan BSFL Terkait Parameter Fisik

Referensi		**Efisiensi**			**Sifat pengembangan larva**		**Feeding rate (mg/larva.hari)**
Penelitian terdahulu	**Sumber pakan (substrat)**	**Biokonversion rasio %**	**Rasio konversi protein (%)**	**Reduksi material (%)**	**Development time**	**Survival rate (%)**	
C. Lalander dkk (2019)	Sampah makanan	13,9	58,7	55,3	19	87,2	40
	Limbah rumah potong hewan (domba)+buah & sayur	14,2	47,7	61,1	17	96,3	40
	Buah dan sayur	4,1	34,3	46,7	40	90,7	40
Elevita Sari Saragi (2015)	Sampah sayur dan sampah buah	-	-	42,75	21	78	60
Firman Aziz Nugraha (2019)	Sampah sayur	-	-	40,3	19	87	60

Tabel diatas merupakan beberapa hasil dari penelitian terdahulu terkait pengomposan menggunakan BSF dengan beberapa parameter fisik. Disini penulis mencoba menjelaskan apa yang mempengaruhi nilai parameter-parameter tersebut dalam pengomposan. Efisiensi pengomposan menggunakan larva BSF dapat dipengaruhi oleh beberapa hal seperti nilai BCR, perkembangan larva dan berat akhir larva (Lalander, 2019), sedangkan menurut Banks dkk (2014) dan Parra Paz dkk (2015) efisiensi pengomposan mengunakan larva sangat dipengaruhi oleh *feeding rate* dan *feeding frequency*.

Menurut Lalander (2019) nilai BCR, tingkat perkembangan larva dan berat akhir prepupa dapat dipengaruhi oleh dua variabel yaitu VS (*volatile solids*) dan *protein feeding rates.* Substrat yang memilki nilai VS tinggi, besar kemungkinan berdampak positif terhadap nilai BCR, namun hal tersebut tidak terlalu berpengaruh terhadap waktu pertumbuhan perkembangan larva dimana dalam masa pertumbuhan dan perkembangan

juga diperlukan peran dari kadar protein dari substrat. Pada tabel diatas dimana subtrat limbah rumah potong hewan murni dengan substrat limbah rumah potong hewan ditambah buah dan sayur memiliki nilai BCR yang mirip yaitu 14-15 %, namun keduanya memilki perbedaan yang cukup signifikan pada *protein conversion ratio* (PrCR) dimana subtrat limbah rumah potong hewan murni memilki nilai PrCR sebesar 30,8% sedangkan substrat limbah rumah potong hewan ditambah buah dan sayur memilki nilai PrCR sebesar 47,7%. Dalam penjelasan Lalander (2019), lebih tingginya nilai PrCR pada substrat limbah rumah potong hewan ditambah buah dan sayur dikarenakan adanya campuran buah dan sayur yang dapat menyeimbangakn kadar gizi pada substrat. Tambahan campuran buah dan sayur juga berarti adanya tambahan karbon yang dapat menyeimbangakna kadar nitrogen yang tinggi pada limbah rumah potong hewan sehingga memungkinkan larva BSF dapat lebih memanfaatkan nutrisi yang tersedia. Untuk tingkat reduksi material menurut Elvita (2015) dalam penelitiannya sangat dipengaruhi oleh *feeding rate* dimana dalam penelitiannya digunakan komposisi sampah kombinasi yaitu sampah sayur : sampah buah (50:50) dengan feeding rate sebesar 60 mg/larva.hari dengan tingkat reduksi sampah sebesar 42,75%. Dalam penelitian yang dilakukan Elvita (2015) tingkat reduksi material (sampah) pada tiap komposisi sampah dengan nilai feeding rate 60 mg/larva.hari selalu memilki tingkat persentase paling rendah dibanding dengan nilai feeding rate di bawah 60 mg/larva.hari. dan hal tersebut dapat disebabkan oleh jumlah pakan atau sampah yang diberikan terlalu banyak dan mengandung kadar air yang tinggi sehingga menciptakan kondisi anaerobik didalam reaktor, dimana kondisi tersebut dapat menghambat akses larva ke makanannya dan mengakibatkan persentase reduksi sampah oleh larva tidak optimal. Faktor lain yang memepengaruhi tingkat reduksi sampah yaitu tingkat kematian larva dalam reaktor, dimana tingkat kematian larva dipengaruhi oleh cocok atau tidaknya sumber makanan (sampah) yang diberikan. Terkait *material reduction* menutur Lalander (2019) substrat yang mengandung kadar karbon tinggi (sebagian besar dari lignin) dapat diuraikan dengan lebih baik dalam pengomposan menggunakan larva BSF yang mana umumnya merupakan proses yang cukup cepat.

Adapun faktor yang mempengaruhi ukuran dan perkembangan larva adalah kadar energi dan protein yang terkandung dalam substrat. Dalam beberapa penelitian terdahulu seperti yang dikatakan Nguyen (2013) dalam penelitiaannya bahwa memang pertumbuhan dan perkembangan larva pada substrat buah dan sayur membuhkan waktu

yang lebih lama namun ukuran larva pada substrat ini terbilang lebih besar. Hal ini dapat disebebkan karena kadar energi dan kadar protein dari buah dan sayur lebih rendah jika dibandinkan dengan dengan kadar energi dan protein dari kotoran (*manure*).

b) Parameter fisik dan kimia di akhir pengolahan

I. Fisik : OM (*organic matter*)

Kadar air

II. Kimia : pH

Total fosfor

Total nitrogen

C/N rasio

Total kalium

VFAs

Tabel 4.4. Karakteristik Awal dan Hasil Akhir Proses Pengomposan

Parameter	**Literatur 1**		**Literatur 2**		**Literatur 3**	
	Kondisi awal	**Kondisi akhir**	**Kondisi awal**	**Kondisi akhir**	**Kondisi awal**	**Kondisi akhir**
	Sampah makanan	**Sampah makanan + BSFL**	**Sampah buah+sampah sayur**	**Sampah buah + sampah sayur + BSFL**	**Sampah sayur**	**Sampah sayur + BSFL**
Kadar air (%)	83,35	62,99	89,28	63,37	-	84
Suhu (°C)					30	31
pH	7,05	7,36	5,39	5,1	6	7
Bahan organik (OM) (%)	99,08	88,69	-	-	-	-

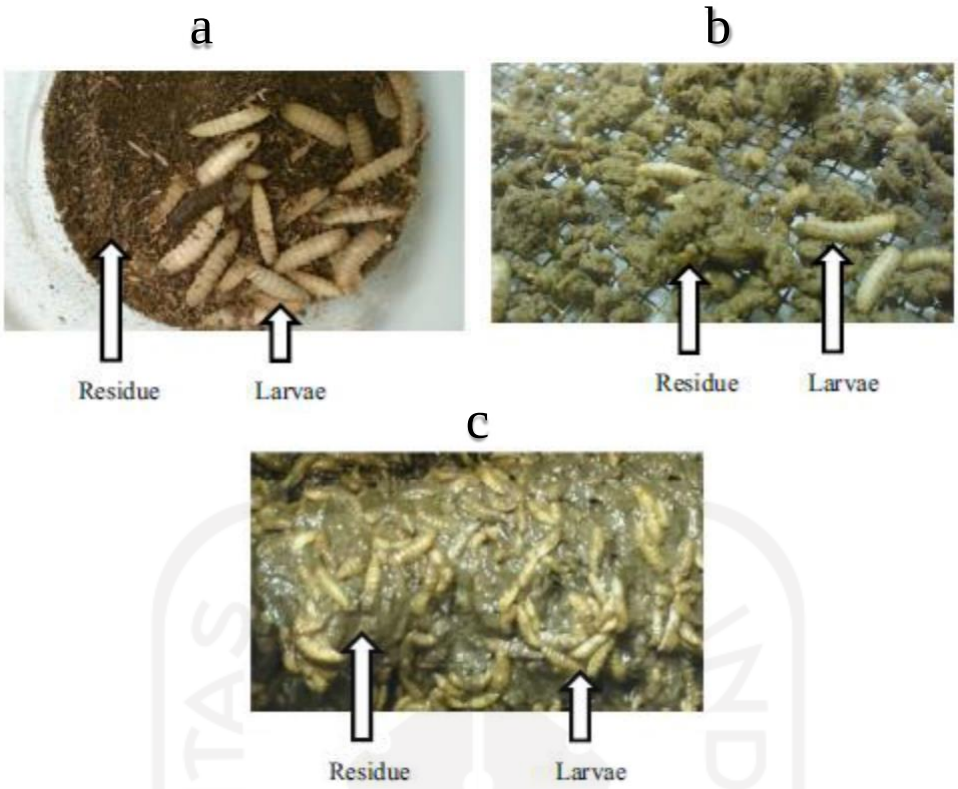
Total nitrogen (TKN) (g/kg)	26,82	31,20	-	-	-	0,51 (%)
Total fosfor (TP) (g/kg)	1,30	11,39	-	-	-	0,85 (%)
Total kalium (TK) (g/kg)	1,61	8,37	-	-	-	0,99 (%)
Rasio Carbon / Nitrogen (%)	20,96	16,50	30,11	20,63	-	22,11

Menurut Sharma dan Garg (2018) perubahan nilai pH di hari-hari awal biasanya disebabkan oleh kandungan kimia dari substrat. Adapun peningkatan nilai pH di minggu-minggu awal yaitu biasanya pada hari ke-3 hingga hari ke-9 dan cenderung turun pada hari ke-12, hal tersebut dapat disebabkan oleh aktifitas larva BSFL saat pengomposan dimana BSFL bisa memanfaatkan VFAs (*Volatile Fatty Acids*) sebagai sumber karbon dan bekerjasama dengan mikroba asli yang dapat menyebabkan menurunnya kadar VFAs dan meningkatkan nilai pH. *Volatile Fatty Acid* (VFA) adalah produk antara yang dihasilkan oleh pencernaan substrat yang melibatkan limbah atau sampah, seperti sisa makanan dan kotoran (*manure*) (Atasoy, 2018). *Volatile fatty acid* (VFA) merupakan salah satu parameter seberapa besar bahan organic dapat diurai menjadi materi yang lebih sederhana. Menurut Alavi dkk (2017) meningkatnya nlai pH dapat disebabkan oleh proses amonifikasi dari kotoran tersebut yang kemudian dapat menstabilisasi emisi dari NH3 atau asimilasi mikroorhanisme. Dalam tabel diatas juga terjadi penuruanan nilai pH pada substrat tanpa BSFL, hal tersebut dapat disebabkan oleh konversi dari nitrogen dan fosfor menjadi nitrat dan fosfat lainnya (Ndegwa dkk, 2000). Nilai optimal untuk pH adalah 6-10 dan minimal pH untuk larva hidup adalah 2.

Mertenat dkk (2019) meyebutkan bahwa penurunan kadar OM (*organic matter*) terjadi karean adanya perubahan (*transformation*) OM menjadi VFAs di hari-hari awal pengomposan yang oleh larva BSF dijadikan sumber makanan. Dalam tabel diatas terdapat perbedaan yang untuk nilai TKN (total nitrogen) contoh Dalam beberapa kasus terjadi peningkatan TKN diantaranya dari 26,82 menjadi 30,12. Dijelaskan oleh Zhu dkk (2019) bahwa peningkatan

kadar TKN disebabkan oleh beberapa hal diantaranya yaitu terjadinya degradasi organik yang signifikan dan berat pengomposan. Menurunnya kadar TKN menurut Wang dkk (2017) bisa disebabkan karena kehilangan ammonia. Untuk nilai TP dan TK terjadi kenaikan yang signifikan dalam beberapa kasus contohnya yaitu 1,61 menjadi 8,37 untuk TK dan 1,3 menjadi 11,39 pada substrat dengan larva BSF dimana terjadinya hal tersebut menurut Tao Liu dkk (2020) adalah karena akselerasi dari BSFL dalam mereduksi massa dan mengurai bahan organik.

Untuk rasio C/N pada tabel diatas mengalami penurunan dari nilai rasio awal contoh kasus diatas yaitu dari 30,63 menjadi 20,11 dimana salah satu penyebabnya adalah kandungan nitrogen yang tinggi dalam substrat (sampah). Kandungan nitrogen yang tinggi dapat menyebabkan rasio C/N menurun sedangkan kandungan nitrogen yang rendah dapat menyebabkan rasio C/N meningkat. Untuk nilai kandungan nitrogen pada tabel diatas (literatur 2) rasio C/N mengalami penurunan di tahap akhir pengomposan yang disebabkan oleh tingginya kandungan nitrogen dalam substrat (sampah) yang digunakan. Semakin tinggi kandungan protein dalam substrat (sampah) maka semakin tinggi kandungan nitrogen total. Selain pengaruh dari kandungan protein pada substrat (sampah), tingginya kandungan nitrogen merupakan akibat dari adanya pembentukan gas ammonia yang terjadi saat proses degradasi protein substrat (sampah) oleh larva BSF. Kadar air mengalami penurunan di akhir pengomposan. Penurunan kadar air pada substrat saat pengomposan dapat berdampak kepada melambatnya pertumbuhan perkembangan larva serta dapat berpengaruh terhadap proses pengayakan residu hasil akhir namun tidak berdampak kepada tingkat *survive* larva. Apabila kadar air terlalu rendah dan menjadikan substrat terlalu kering bagi larva untuk dimakan dapat berdampak pada melambatnya pertumbuhan perkembangan larva, sementara kadar air yang terlalu tinggi pada pakan dapat berdampak pada kondisi residu (produk), menyebabkan residu terlalu basah dan lengket sehingga sulit untuk dipisahkan.



Gambar 4.2. Penampilan larva BSF dan residu ; (a) residu kategori baik (b) residu membentuk gumpalan (kurang baik) (c) residu menajdi lengket (kategori buruk), *sumber gambar :Cheng dkk, 2017*

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang penulis lakukan dengan metode kajian literatur mengenai pengomposan sampah organik menggunakan larva lalat tentara hitam (*Black Soldier Fly*) dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk kadar air dari substrat dapat berdampak terhadap pertumbuhan larva. Penurunan kadar air pada substrat saat pengomposan dapat memperlambat pertumbuhan larva serta berpengaruh terhadap proses pemisahan hasil akhir namun tidak berdampak kepada tingkat *survive* larva. Apabila kadar air terlalu rendah mengakibatkan substrat terlalu kering bagi larva untuk dimakan dan berdampak memperlambat pertumbuhan larva, sementara kadar air yang terlalu tinggi pada pakan berdampak pada kondisi residu (produk), menyebabkan residu terlalu basah dan lengket sehingga sulit untuk dipisahkan. Kadar air optimal yaitu 70-80 % (proses pengomposan) dan <50% (hasil akhir/kompos).
2. Nilai optimal untuk pH adalah 6-10 dan minimal pH untuk larva hidup adalah 2.
3. Rasio C/N mengalami penurunan di tahap akhir pengomposan yang disebabkan oleh tingginya kandungan nitrogen dalam substrat (sampah) yang digunakan. Semakin tinggi kandungan protein dalam substrat (sampah) maka semakin tinggi kandungan nitrogen total. Selain pengaruh dari kandungan protein pda substrat (sampah), tingginya kandungan nitrogen merupakan akibat dari adanya pembentukan gas ammonia yang terjadi saat proses degradasi protein substrat (sampah) oleh larva BSF. Nilai rasio C/N yang baik untuk hasil akhir adalah antara 10-20.

4. Tingkat reduksi material dipengaruhi oleh *feeding rate* jumlah pakan yang diberikan. Pakan yang terlalu banyak dan mengandung kadar air yang tinggi sehingga dapat memicu terciptanya kondisi anaerobik di dalam reaktor dan dapat menghambat akses larva ke makanan dan mengakibatkan persentase reduksi sampah menurun. Faktor lain yang memepengaruhi tingkat reduksi sampah yaitu tingkat kematian larva dalam reaktor, dimana tingkat kematian larva dipengaruhi oleh cocok atau tidaknya sumber makanan (sampah) yang diberikan.
5. Nilai *feeding rate* rendah akan cenderung optimal terhadap efisiensi pengomposan, karena larva akan optimal dalam megolah makanan yang diberikan. Jenis dan kualitas sampah juga berpengaruh seperti sampah yang mengandung biji-bijian, tulang akan lebih sulit untuk diolah dibanding sampah sayur, sampah buah maupun sampah sisa makanan. Untuk sampah sayur, sampah sisa makanan, sampah buah *feeding rate* pakan dengan nilai 50-60 mg/larva/hari akan lebih optimal dengan asumsi jumlah larva 2000-3000 ekor (usia 4-6 hari) untuk volume sampah sekitar 2 kg. Larva BSF bisa didapat dari peternak larva BSF dengan membeli telur BSF untuk kemudian ditetaskan menjadi larva. Berat 1 gram telur BSF yaitu setara dengan 12000 bakal calon larva BSF.
6. Nilai atau persentase *Bio Conversion Ratio* (BCR) itu sendiri dipengaruhi kadar VS (Volatile Solids) dan protein feeding rate. Semakin tinggi nilai VS maka akan berdampak positif terhadap nilai BCR. Persentase BCR menggambarkan tingkat konversi limbah atau sampah organik menjadi kompos semakin tinggi dan pengomposan semakin optimal.

5.2 Saran

Saran dari penulis terkait metode pengomposan sampah organik menggunakan larva BSF ini diantaranya :

1. Pengomposan dengan menggunakan metode BSF (Black Soldier Fly) bisa lebih optimal apabila sampah sayur dan sampah buah dicampur oleh sampah lain seperti sampah makanan ataupun sampah lain yang memiliki kandungan VS (*volatile solids*) dan kandungan protein dan karbon yang tinggi agar efisensi pengomposan lebih optimal.
2. Komposisi sampah dengan larva BSF perlu diperhatikan, jangan terlalu banyak sampah ataupun teralalu banyak larva dalam satu reaktor. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan terlebih dahulu terkait jenis dan jumlah sampah organik yang ingin diolah guna meracik komposisi yang pas antara sampah dengan larva BSF agar pengolahan optimal.
3. Perlu dilakukan sosialisasi yang lebih baik serta lebih sering terkait pengomposan dengan metode ini karena penulis melihat masih rendahnya implementasi metode ini dimasyarakat dalam mengolah sampah organik.
4. Belum adanya regulasi khusus terkait pengomposan menggunakan BSFL ini sehingga belum ada standar yang pasti. Misalnya apabila adanya peminatan yang besar terkait metode BSFL ini untuk dijadikan industri, entah skala kecil, menengah atau besar, maka dapat terhambat dengan tidak adanya regulasi ataupun panduan yang mengakomodir hal tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Alavi, N., Daneshpajou, M., Shirmardi, M., Goudarzi, G., Neisi, A., & Babaei, A. A. (2017). **Investigating the efficiency of co-composting and vermicomposting of vinasse with the mixture of cow manure wastes, bagasse, and natural zeolite**. *Waste Management*, 69, 117-126.

Alvarez,L. (2012). **The role of black soldier fly, Hermetia illucens (L.)(Diptera: Stratiomyidae) in sustainable waste management in Northern Climates**.

Atasoy, M., Owusu-Agyeman, I., Plaza, E., & Cetecioglu, Z. (2018). **Bio-based volatile fatty acid production and recovery from waste streams: Current status and future challenges.** *Bioresource technology*, 268, 773-786.

Badan Standarisasi Nasional (2002). **SNI 19-7030-2004 Spesifikasi Kompos Dari Sampah Organik Domestik**.

Banks, I. J., Gibson, W. T., & Cameron, M. M. (2014). **Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faeces and their implication for improving sanitation.** *Tropical medicine & international health*, **19**.1. 14-22.

Brigita, G., & Rahardyan, B.(2013). **Analisa Pengelolaan Sampah Makanan di Kota Bandung.** *Jurnal Teknik Lingkungan*. **19**. 1. 34-45.

Buchori, D., Hidayat, P., Hem, S., & Fahmi, M. R. (2010). **Perkembangan dan kandungan nutrisi larva Hermetia illucens (Linnaeus)(Diptera: Stratiomyidae) pada bungkil Kelapa Sawit**. *Jurnal Entomologi Indonesia*. **7**. 1. 28.

Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2017). **Proses Pengolahan Sampah Organik dengan Black Soldier Fly (BSF).** Dübendorf, Switzerland: Eawag, Sandec.

Cheng, J. Y., Chiu, S. L., & Lo, I. M. (2017). **Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in *black soldier fly* bioconversion**. *Waste management*. 67. 315-323.

Damanhuri, E., Padmi, T. (2010). **Pengelolaan Sampah**. Bandung : ITB Press

Diener, S., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2009). **Conversion of organic material by *black soldier fly* larvae: Establishing optimal feeding rates**. *Waste Management & Research*. 27. 603-610.

Diener, S. (2010)**. Valorisation of organic solid waste using the black soldier fly, Hermetia illucens, in low and middle-income countries**. Doctoral dissertation. ETH Zurich.

Diener, S., Solano, N. M. S., Gutiérrez, F. R., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2011). **Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae**. *Waste and Biomass Valorization*. **2.** 4. 357-363.

Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2020 (2020). **Laporan Pelaksanaan Tugas Tahunan Organisasi Perangkat Daerah (OPD) Kabupaten Sleman Tahun Anggaran 2019**.

Dortmans, B. M. A., Diener, S., Verstappen, B. M., & Zurbrügg, C. (2017**). Black Soldier Fly Biowaste Processing—A Step-by-Step Guide**. Eawag-Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Department

of Sanitation, Water and Solid Waste for Development (Sandec). Dübendorf, Switzerland.

Ermolaev, E., Lalander, C., & Vinnerås, B. (2019). **Greenhouse gas emissions from small-scale fly larvae composting with Hermetia illucens**. *Waste Management*. 96. 65-74.

Gold, M., Tomberlin, J. K., Diener, S., Zurbrügg, C., & Mathys, A. (2018). **Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in *Black Soldier Fly* larval treatment: A review**. *Waste Management.* 82. 302-318.

Hem, S. (2011). **Final Report: Maggot–Bioconversion Research Program in Indonesia, Concept of New Food Resources Result and Applications 2005-2011**. Institut de Recherche pour le Développement. Perancis.

Holmes, L. A., Vanlaerhoven, S. L., & Tomberlin, J. K. (2012). **Relative humidity effects on the life history of Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae).** *Environmental entomology*. **41**. 4. 971-978.

Kim, W., Bae, S., Park, K., Lee, S., Choi, Y., Han, S., & Koh, Y. (2011). **Biochemical characterization of digestive enzymes in the black soldier fly, Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae).** *Journal of Asia-Pacific Entomology*. **14**. 1. 11-14.

Kumar, S., Negi, S., Mandpe, A., Singh, R. V., & Hussain, A. (2018). **Rapid composting techniques in Indian context and utilization of black soldier fly for enhanced decomposition of biodegradable wastes-A comprehensive review.** *Journal of environmental management*. 227. 189-199.

Lalander, C., Diener, S., Zurbrügg, C., & Vinnerås, B.(2019**). Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (Hermetia illucens)**. *Journal of Cleaner Production*. 208. 211-219.

Liu, T., Awasthi, M. K., Awasthi, S. K., Duan, Y., & Zhang, Z. (2020). **Effects of black soldier fly larvae (Diptera: Stratiomyidae) on food waste and sewage sludge composting**. *Journal of Environmental Management*. 256. 109967.

Mertenat, A., Diener, S., & Zurbrügg, C. (2019). **Black Soldier Fly biowaste treatment–Assessment of global warming potential**. *Waste Management*. 84. 173-181.

Ndegwa, P. M., Thompson, S. A., & Das, K. C. (2000). **Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids**. *Bioresource technology*. **71**. 1. 5-12.

Nguyen, T. T., Tomberlin, J. K., & Vanlaerhoven, S. (2013). **Influence of resources on Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) larval development.** *Journal of Medical Entomology*. **50**. 4. 898-906.

Nugraha, F. A. (2019). **Analisis Laju Penguraian Dan Hasil Kompos Pada Pengolahan Sampah Sayur Dengan Larva Black Soldier Fly (Hermetia Illucens)**. Doctoral dissertation. Universitas Islam Indonesia).

Paz, A. S. P., Carrejo, N. S., & Rodríguez, C. H. G. (2015). **Effects of larval density and feeding rates on the bioconversion of vegetable waste using black soldier fly larvae Hermetia illucens (L.),(Diptera: Stratiomyidae).** *Waste and biomass valorization*. **6**. 6. 1059-1065.

Pangestu, W., Prasetya, A., & Cahyono, R. B. (2017). **Pengolahan Limbah Kulit Pisang dan Nangka Muda Menggunakan Larva Black Soldier Fly (Hermetia illucens).**

Popa, R., & Green, T. (2012). **DipTerra LCC e-Book 'Biology and Ecology of the Black Soldier Fly'**. DipTerra LCC.

Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S., & Savastano, D. (2017). **Environmental impact of food waste bioconversion by insects: application of life cycle assessment to process using Hermetia illucens.** *Journal of Cleaner Production*. 140. 890-905.

Saragi, E. S. (2015). **Penentuan Optimal Feeding Rate Larva Black Soldier Fly (Hermetia illlucens) dalam Mereduksi Sampah Organik Pasar**. Doctoral dissertation. Institut Teknology Sepuluh Nopember.

Singh, A., & Kumari, K. (2019). **An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review**. *Journal of environmental management*. 251. 109569.

Sulistiyono, P. H. (2016). **Potensi penguraian bukan fermentasi dalam pengolahan sampah. Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pemerintah Daerah DIY**. 8. 2. 39-47.

Suryati, T. (2009). **Bijak dan Cerdas Mengolah Sampah.** AgroMedia.

ur Rehman, K., Rehman, A., Cai, M., Zheng, L., Xiao, X., Somroo, A. A., ... & Zhang, J. (2017). **Conversion of mixtures of dairy manure and soybean curd residue by black soldier fly larvae (Hermetia illucens L.)**. *Journal of cleaner production*. 154. 366-373.

Wahyono, S., Sahwan F.L. dan Suryanto, F. (2003). **Pengomposan Sampah Kota Sistem Windrow Bergulir.** Pusat Teknologi Lingkungan. BPPT

Žáková, M. dan Borkovcová, M. (2013). **Hermetia illucens Application in Management of Selected Types of Organic Waste**. *Rangkuman 'The 2nd Electronics International Interdisciplinary Conference'*. 2-6 September 2013. 367-370.