



Pengaruh Komposisi Sampah dan *Feeding Rate* terhadap Proses Biokonversi Sampah Organik oleh Larva *Black Soldier Fly* (BSF)

Rini Hartono¹, Anita Dwi Anggrainy², Arseto Yekti Bagastyo^{1,2,*}

¹Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

²Pusat Penelitian Infrastruktur dan Lingkungan Berkelanjutan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111, Indonesia

*E-mail: bagastyo@enviro.its.ac.id

ABSTRAK

Biokonversi oleh larva *Black Soldier Fly* (BSF) menjadi metode pilihan untuk pengolahan sampah organik. Metode ini meliputi proses reduksi jumlah sampah yang dihasilkan masyarakat, pembentukan kompos dari residu sampah yang tidak terdegradasi oleh BSF, dan pertumbuhan larva BSF yang dapat digunakan untuk pakan hewan. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi seberapa besar pengaruh komposisi sampah dan *feeding rate* terhadap tingkat reduksi dan biokonversi sampah. Variabel penelitian berupa (i) komposisi sampah, yakni campuran 30% sampah sisa makanan (SM) dengan 70% sampah sayur (SY) atau sampah buah (B) atau sampah kebun (K), dan (ii) *feeding rate* (20, 35, dan 50 mg sampah organik/larva.hari). Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium selama 12 hari dengan menggunakan 300 ekor larva/bioreaktor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa larva yang diberi campuran SM:SY dapat menghasilkan persentase reduksi sampah paling tinggi (81,98%), diikuti oleh campuran SM:B sebesar 81,23%, dan SM:K sebesar 42,71%. Ditinjau dari berat akhir larva, tingkat biokonversi tertinggi didapat pada campuran SM:B dan *feeding rate* 35 mg sampah/larva.hari, sedangkan tingkat biokonversi terendah didapat dari campuran SM:K dan *feeding rate* 50 mg sampah/larva.hari. Analisis protein menunjukkan bahwa semua larva BSF dari tiap campuran sampah layak dimanfaatkan sebagai pakan hewan, karena memiliki kandungan protein antara 34–59%.

Kata kunci: *feeding rate*, komposisi sampah, larva *Black Soldier Fly* (BSF), sampah organik

ABSTRACT

Bioconversion method using *Black Soldier Fly* (BSF) larvae has become of great interest in organic waste treatment. This method comprises of the municipal waste reduction process, the compost production from undegraded waste, and the growth of BSF larvae that can be used further as animal feed. This study evaluates the effect of waste composition and feeding rate on the waste reduction and bioconversion level. The evaluations were done on some variables: (i) waste composition (30% food waste and 70% vegetables waste (SY) or fruit waste (B) or garden waste (K), (ii) feeding rate (20, 35, and 50 mg waste/larva.day). The experiments were conducted in a laboratory scale for 12 days using 300 larvae/bioreactor. The results show that the larvae that has been fed with SM:SY obtained the highest waste reduction (81.98%), followed by SM:B (81.23%) and SM:K (42.71%). Based on the final larvae weight, the highest bioconversion level was acquired on the SM:B composition and feeding rate of 35 mg waste/larva.day, whereas the lowest bioconversion was measured on the SM:K composition and feeding rate of 50 mg waste/larva.day. The protein analyses describes that all larvae are applicable for animal feed due to protein contents of 34–59%.

Keywords: *Black Soldier Fly* (BSF) larvae, feeding rate, organic waste, waste composition



1. PENDAHULUAN

Meningkatnya pertumbuhan penduduk secara tidak langsung akan meningkatkan jumlah timbulan sampah yang harus diolah. Sesuai SNI 19-2454-2002, timbulan sampah adalah banyaknya sampah yang timbul dari masyarakat dalam satuan volume maupun berat per kapita per hari, atau perluas bangunan, atau perpanjang jalan. Dari total timbulan sampah tersebut, sampah organik (terutama dari sisa makanan) umumnya menyumbang persentase terbesar. Pada negara dengan pendapatan perkapita rendah hingga menengah, persentase sampah organik dapat mencapai 46–53% dari total sampah [1,2], sedangkan pada negara dengan pendapatan perkapita yang tinggi, sampah organik menyumbang 34% dari total sampah [2]. Pada tahun 2021, organisasi pangan dunia (FAO) mengestimasi bahwa sampah sisa makanan dari rumah tangga, kawasan komersil, dan industri makanan mencapai 931 juta ton/tahun. Sampah sisa makanan dari rumah tangga mencapai 60% dari jumlah tersebut (570 juta ton) [3]. Estimasi tersebut didapatkan berdasarkan perkiraan jumlah persentase massa yang hilang dari tiap rantai suplai makanan (produksi, panen dan penyimpanan, proses, distribusi, dan konsumsi) [4]. Jumlah sampah organik yang demikian besar telah banyak menimbulkan permasalahan, seperti meningkatnya bau, memerlukan tempat pembuangan yang besar, meningkatnya debit lindi, dan emisi gas metana [5]. Untuk itu, perlu adanya pengolahan sampah organik yang berkelanjutan, agar sebagian besar sampah organik yang masuk ke *landfill* dapat dikurangi, dan biaya untuk pengolahan lindi dan gas metana dapat diminimalisir [6].

Dalam beberapa tahun terakhir, pengolahan sampah organik menggunakan larva *Black Soldier Fly* (BSF) telah diaplikasikan dan diminati oleh berbagai negara, seperti China, Korea Selatan, Malaysia, Indonesia, Jepang, Vietnam, dan

Taiwan [7–10]. Serangga BSF sendiri dapat ditemukan di negara-negara dengan iklim yang hangat sepanjang tahun, baik di negara tropis ataupun sub-tropis yang terletak pada garis lintang antara 40°S dan 40°N (dari mulai kawasan neotropik, hingga australasia, nearktik, paleartik, dan *afrotropical*) [7,11]. Berbeda dengan lalat rumah, BSF tidak akan menjadi vektor penyakit [12]. Larva BSF yang telah menetas, dapat mengkonsumsi berbagai jenis makanan, seperti kotoran hewan dan manusia, sampah buah, sayur, ikan, sisa makanan, dan sebagainya [8,13]. Namun, pertumbuhan dan tingkat kelangsungan hidupnya sangat bergantung pada temperatur, intensitas cahaya, serta komposisi, kelembaban, dan ukuran bahan makanan [7,14]. Berdasarkan penelitian terdahulu, rata-rata berat basah sampah yang dapat direduksi dalam kondisi optimum berkisar antara 63–80% [7,8,15]. Hasil residu sampah terolah yang berupa butiran-butiran kasar dan berwarna kehitaman seperti kompos, selanjutnya dapat digunakan untuk penyubur tanah ataupun pupuk [16].

Setelah melalui proses pertumbuhan selama kurang lebih 14–16 hari, perkembangan larva akan optimal dan siap untuk dipanen [7]. Biomass dari larva BSF dapat mengandung 32–58% protein, 15–39% lemak, dan asam amino yang lengkap dan seimbang [8,17]. Kandungan nutrisi yang tinggi tersebut menjadikan larva BSF sebagai alternatif terbaik untuk pakan ikan, unggas, reptil, amfibi, atau serangga lain [13,18]. Selain itu, dengan kandungan minyak yang tinggi, residu larva BSF sangat potensial digunakan untuk produksi biodiesel [19].

Pada penelitian ini, kinerja metode pengolahan sampah organik dengan larva BSF dievaluasi berdasarkan variabel *feeding rate* dan komposisi sampah (berupa sisa makanan yang bercampur dengan jenis sampah sayur, sampah buah dan sampah kebun yang merepresentasikan jenis-jenis sampah

dengan perbedaan kandungan kadar air, kandungan karbohidrat dan kandungan serat). Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh komposisi sampah dan *feeding rate* terhadap tingkat reduksi sampah dan biokonversi sampah. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat diketahui komposisi sampah dan *feeding rate* yang tepat untuk mengoptimalkan tingkat biokonversi sampah organik yang bersumber dari sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga (yaitu sampah yang berasal dari kawasan komersial, industri, kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan/atau fasilitas lainnya) oleh larva BSF.

2. METODE PENELITIAN

2.1. LARVA BSF

Larva BSF diambil dari tempat pembiakan larva yang terletak di Pusat Daur Ulang (PDU) sampah, Kecamatan Jambangan, Kota Surabaya. Larva yang digunakan untuk eksperimen berumur 6 hari dari hasil budidaya BSF. Sebanyak 300 ekor larva BSF ditambahkan pada masing-masing reaktor uji yang berisi sampah organik berupa sampah sisa makanan dengan variasi komposisi tertentu (Gambar 1).



Gambar 1. Larva BSF (umur 6 hari) yang ditambahkan ke sampah organik

2.2. SAMPAH ORGANIK

Jenis sampah organik yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain sampah sisa makanan (SM), sampah sayur (SY), sampah buah (B), dan sampah kebun (K). Karakteristik masing-masing sampah

organik disampaikan pada Tabel 1. Jenis sampah SM dan K (ranting dan daun) diambil dari PDU sampah Kec. Jambangan, sedangkan jenis sampah B (pepaya, semangka, dan melon) diambil dari Tempat Penampungan Sementara (TPS) sampah di Gebang, Kecamatan Sukolilo, Surabaya. Sementara itu, jenis sampah SY (meliputi bayam, sawi, kol, kangkung, dan selada) diambil dari pasar Keputran, Surabaya. Sebelum eksperimen dilakukan, jenis sampah B dan SY dilumatkan hingga halus dan lembut menggunakan alat blender. Sedangkan K dicacah hingga berukuran kecil dan diberi sedikit air untuk meningkatkan kadar airnya.

Dalam setiap eksperimen, komposisi sampah diatur berdasarkan perbandingan berat kering sampah, yaitu SM(30%):SY(70%), SM(30%):B(70%), SM(30%):K(70%). Sampah sebanyak 6 g (berat kering) dimasukkan ke dalam reaktor untuk variasi *feeding rate* 20 mg/larva.hari. Pada reaktor lain, sampah sebanyak 10,5 g (berat kering) dimasukkan ke dalam reaktor untuk variasi *feeding rate* 35 mg/larva.hari. Lalu untuk reaktor lainnya, berat sampah yang harus dimasukkan adalah 15 g untuk variasi *feeding rate* 50 mg/larva.hari. Berat basah masing-masing sampah sangat bervariasi setiap harinya. Oleh karena itu, komposisi campuran sampah diatur berdasarkan rasio awal C/N yang relatif sama, yakni 30,62 (SM:SY); 32,18 (SM:B); dan 32,42 (SM:K). Hal ini untuk memenuhi rentang syarat C/N 20–40 dalam proses pengomposan. Berat basah campuran sampah yang dimasukkan menyesuaikan variasi *feeding rate* di tiap reaktor. Pada penelitian ini, campuran sampah SM:SY memiliki berat basah antara 300,35–750,87 g. Campuran sampah SM:B memiliki berat basah antara 138,90–347,26 g, sedangkan campuran sampah SM:K memiliki berat basah antara 47,09–117,74 g.

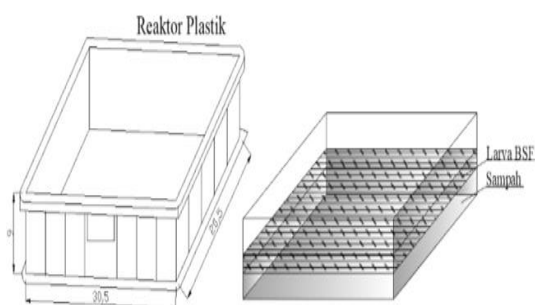
Tabel 1. Karakteristik sampah organik awal tiap jenis sampah

Jenis Sampah	pH	Kadar air %	C-org.* %	N-org.* %	Rasio C/N
SM	3,84	74,88	21,13	0,92	22,96
SY	4,80	92,92	33,18	1,46	22,78
B	4,35	90,93	36,68	0,97	37,98
K	7,50	38,08	36,54	1,08	33,99

*Org. = organik

2.3. PELAKSANAAN PENELITIAN

Reaktor yang digunakan pada eksperimen adalah berbahan plastik HDPE dengan volume 3,5 L sebagaimana terlihat pada Gambar 2. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium selama 12 hari, menggunakan 18 buah reaktor (duplo reaktor uji) dan 3 buah reaktor kontrol untuk 3 jenis komposisi sampah. Sampah organik yang telah dihaluskan ataupun dicacah diletakkan di dasar reaktor. Selanjutnya, 300 ekor larva disebar di atas sampah organik. Waktu pemberian makanan ditentukan setiap 3 hari sekali, yakni pada hari ke-1, 4, dan 7, dengan variasi *feeding rate* (20, 35, dan 50 mg sampah organik/larva.hari). Kontrol rutin dilakukan setiap hari dengan mengukur suhu reaktor dan mengamati pertumbuhan dan kelangsungan hidup larva.

**Gambar 2.** Reaktor penelitian

2.4. PENGUKURAN DAN ANALISIS DATA

Sampel residu sampah diambil pada hari ke 1 dan 12. Suhu sampah diukur dengan menggunakan termometer. Kadar air dan pH sampah diukur dengan metode standar yang ditetapkan oleh *Association of*

Analyst Chemists (AOAC) [20]. Pengukuran kandungan N-organik total dilakukan melalui metode semi mikro Kjeldahl, sedangkan kandungan C-organik ditentukan dengan analisis gravimetri.

Berat larva dan massa sampah ditimbang pada hari (t) ke 1, 4, 7, dan 12. Dalam setiap sampling, 20 ekor larva diambil secara acak, selanjutnya analisis berat kering dilakukan dengan cara memanaskan sampel menggunakan oven bertemperatur 105°C selama 24 jam. Kemudian dilakukan penimbangan setelah hilangnya kadar air sampel. Tingkat reduksi sampah dan *survival rate* larva dihitung dengan persamaan berikut [21,22]:

$$D(\%) = \frac{W - R}{W} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Survival rate}(\%) = \frac{\text{Jml larva}_{\text{akhir}}}{\text{Jml larva}_{\text{awal}}} \times 100 \quad (2)$$

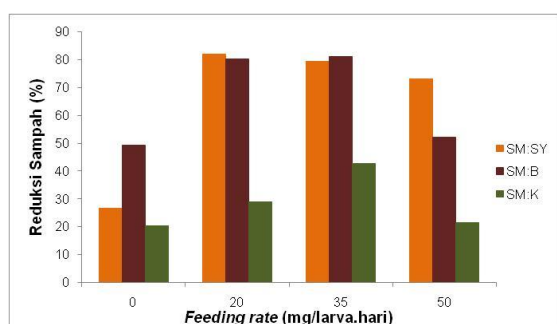
Keterangan: D adalah tingkat reduksi sampah (%); W adalah jumlah sampah organik yang diaplikasikan atau tersedia dalam reaktor (g) selama waktu t (hari); R adalah residu sampah (g) setelah waktu t (hari).

Analisis protein dilakukan dengan cara mengukur kandungan total nitrogen dari 20 ekor sampel larva, lalu hasilnya dikalikan dengan faktor konversi (6,25) [23]. Pada penelitian ini, analisis kandungan protein dalam larva hanya dilakukan pada variabel penelitian yang memiliki persentase reduksi sampah tertinggi tiap komposisi sampah yang diujikan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. PENGARUH KOMPOSISI SAMPAH DAN FEEDING RATE TERHADAP REDUKSI SAMPAH DAN PERTUMBUHAN LARVA BSF

Gambar 3 memperlihatkan pengaruh variasi *feeding rate* terhadap persentase reduksi sampah. Pada Gambar 3, variasi *feeding rate* sebesar 20–50 mg/larva.hari dalam campuran sampah SM:SY, mampu menurunkan berat sampah antara 70–80%. Sedangkan pada komposisi sampah SM:B, tingkat reduksi sampah yang paling tinggi (80%) didapat pada variasi *feeding rate* 20–35 mg/larva.hari. Berbeda halnya dengan sampah SM:K, setiap variasi *feeding rate* hanya mampu menurunkan berat sampah antara 20–40%.



Gambar 3. Pengaruh *feeding rate* terhadap persentase reduksi sampah

Seperti jenis hewan yang lain, larva BSF akan menyesuaikan laju penyerapan makanan sesuai dengan kebutuhan nutrisi dan ketersediaan makanan yang ada di sekitarnya [24]. Apabila jumlah nutrisi yang ada disekitarnya tidak cukup, maka larva BSF akan memperlambat metabolismenya, dampaknya pertumbuhan dan perkembangan larva akan terganggu, tingkat reduksi sampah juga akan terhambat [25]. Sesuai penelitian terdahulu oleh Dortmans dkk. [7], kadar air antara 70–80% sangat cocok untuk pertumbuhan larva. Komposisi sampah SM:SY dan SM:B memiliki kadar air awal sebesar 80–90%, sedangkan kadar air pada komposisi SM:K hanya berada pada rentang 40–50%.

Disamping kadar air, jenis nutrisi yang ada dalam masing-masing sampah turut mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan larva. Pada umumnya, sampah SM kaya akan karbohidrat, protein, dan lemak [24]. Sampah sayur dan buah memiliki kandungan karbohidrat yang tinggi, serat yang sedang, dan protein yang rendah [8]. Namun dibandingkan dengan sampah sayur, kandungan karbohidrat dalam sampah buah jauh lebih tinggi. Sedangkan sampah kebun memiliki kandungan serat yang sangat tinggi. Larva BSF yang mengkonsumsi lebih banyak karbohidrat dibandingkan protein, cenderung memiliki banyak lemak di tubuhnya [18]. Hal ini terlihat pada berat akhir larva yang mengkonsumsi sampah SM:B. Terdapat kenaikan berat sebesar 137–247% pada larva yang mengkonsumsi sampah SM:B dibandingkan dengan larva yang mengkonsumsi sampah SM:SY. Berat larva yang mengkonsumsi SM:B menjadi optimal ketika diberikan *feeding rate* sebesar 35 mg sampah organik/hari, dengan efisiensi reduksi sampah sebesar $81,23 \pm 4,29\%$. Namun ketika *feeding rate* dinaikkan menjadi 50 mg sampah organik/hari, efisiensi reduksi sampah menjadi turun menjadi $52,09 \pm 11,30\%$. Musselman dkk. [26] dalam studinya menyebutkan bahwa tingginya kadar gula pada bahan makanan, akan mengganggu sistem metabolik larva. Larva akan cenderung mengalami obesitas dan perlambatan laju pertumbuhan, akibatnya tingkat reduksi sampah juga akan berkurang. Pada larva yang diberi makan dengan campuran SM:K, tingkat reduksi sampah menjadi sangat rendah (sekitar 20–40%). Kadar air yang rendah dalam sampah campuran tersebut berpengaruh dalam pertumbuhan larva, selain itu, tingginya serat dalam sampah kebun juga sangat mempengaruhi tingkat metabolisme larva. Serat tidak dapat dicerna oleh larva, akibatnya densitas nutrisi yang ada dalam tubuh larva akan berkurang dan sistem metabolismenya akan melambat.

Dampaknya, laju pertumbuhan dan perkembangannya akan menjadi lebih lama dibandingkan dengan larva yang diberikan nutrisi (karbohidrat dan protein) yang seimbang [8].

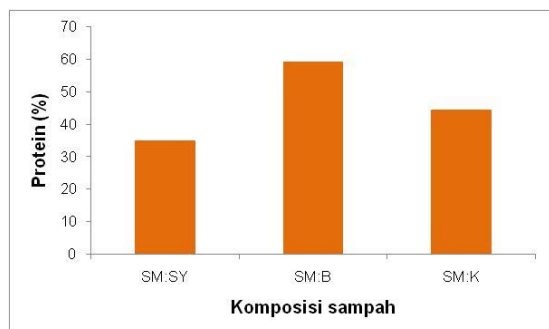
Berdasarkan Tabel 2, diketahui pula bahwa tinggi atau rendahnya *feeding rate* tidak berbanding lurus dengan tingkat reduksi sampah. Pada komposisi SM:SY, *feeding rate* sebesar 20 mg sampah/larva.hari justru memiliki tingkat reduksi sampah yang paling besar dibandingkan dengan *feeding rate* 35 dan 50 mg sampah/larva.hari. Rendahnya tingkat reduksi sampah pada *feeding rate* 50 mg sampah/larva.hari dapat disebabkan oleh hasil ekskresi larva itu sendiri atau sisa sampah yang belum termakan [23]. Kedua hal tersebut sangat mungkin terjadi, karena jika dilihat dari berat akhir larva, larva dengan *feeding rate* 50 mg sampah/larva.hari memiliki berat yang jauh lebih besar dibandingkan dengan larva yang diberikan *feeding rate* 20 mg sampah/larva.hari. Kondisi yang sama

terjadi pula pada penelitian sebelumnya [15], *feeding rate* sebesar 20 mg sampah/larva.hari pada campuran sampah sayur dan buah diketahui dapat mengurangi berat sampah hingga sebesar 63%, sedangkan tingkat reduksi pada *feeding rate* 60 mg sampah/larva.hari hanya sebesar 42%.

Seperti yang dicantumkan pada Tabel 2 dan Gambar 4, kandungan protein tertinggi (55%) dimiliki oleh larva yang diberikan campuran SM:B, diikuti oleh larva yang diberikan campuran SM:K (44%) dan SM:SY (34%). Kandungan protein yang didapat pada penelitian ini lebih tinggi daripada yang sebelumnya diobservasi oleh Diener dkk. [23], yakni sebesar 31–46%. Dengan cukup tingginya kandungan protein yang ada di dalam larva, maka larva cukup layak untuk dipanen dan diproses lebih lanjut menjadi alternatif pakan hewan. Pemrosesan larva yang telah dipanen dapat berupa proses pembersihan, sterilisasi, pengeringan, dan fraksinasi [9].

Tabel 2. Pengaruh komposisi sampah dan *feeding rate* pada efisiensi reduksi dan konversi sampah

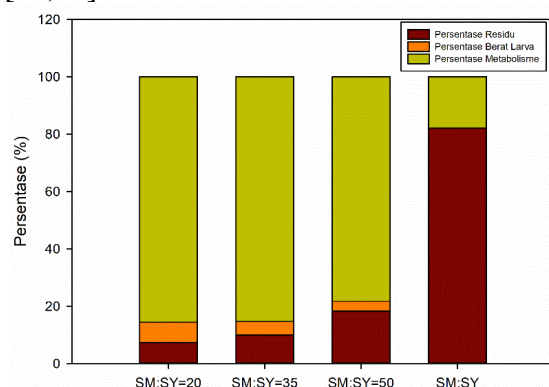
Komposisi sampah	<i>Feeding Rate</i> (mg/larva/hr)	Berat Larva Awal	Berat Larva Akhir	Jumlah Larva yang Bertahan	Reduksi Sampah	Protein Larva
		(mg/larva)	(mg/larva)	(ekor)	%	%
SM:SY	0	-	-	-	26,61 ± 0,00	-
	20	0,86	27,62 – 38,80	249 – 255	81,98 ± 7,40	34,94
	35	0,86	52,27 – 55,27	242 – 246	79,41 ± 4,33	-
	50	0,86	42,16 – 57,62	223 – 237	72,96 ± 2,62	-
SM:B	0	-	-	-	49,42 ± 0,00	-
	20	1,68	79,08 – 134,66	243 – 246	80,26 ± 0,12	-
	35	1,68	124,80 – 131,43	249 – 253	81,23 ± 4,29	59,25
	50	1,68	115,82 – 133,80	248 – 255	52,09 ± 11,30	-
SM:K	0	-	-	-	20,47 ± 0,00	-
	20	0,86	54,20 – 69,67	258 – 260	28,97 ± 5,56	-
	35	0,86	39,46 – 52,22	259 – 260	42,71 ± 6,51	44,35
	50	0,86	40,18 – 42,96	260	21,57 ± 3,68	-



Gambar 4. Kandungan protein larva setelah proses biokonversi

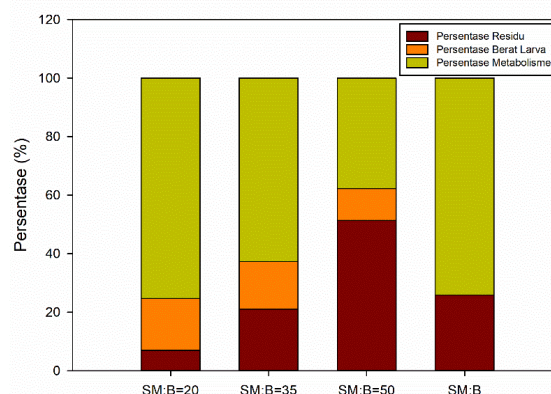
3.2. BIONKONVERSI SAMPAH ORGANIK OLEH LARVA BSF

Biokonversi (konversi secara biologik) adalah proses perubahan massa organik secara biologik, yaitu dari substrat berupa sampah menjadi senyawa protein ataupun lemak yang terakumulasi dalam bagian tubuh larva BSF. Tingkat biokonversi sampah diukur berdasarkan perbedaan berat kering larva sebelum dan sesudah proses dekomposisi sampah, serta kadar protein yang terkandung dalam larva BSF. Berbagai jenis mikroba, baik yang ada di dalam sampah ataupun dalam usus larva, berperan cukup besar dalam proses dekomposisi dan konversi sampah. Selain untuk membantu proses metabolisme dalam tubuh larva (yaitu proses dekomposisi makronutrien), mikroba-mikroba tersebut memberikan kontribusi terhadap proses dekomposisi sampah organik dan inaktivasi bakteri patogen [27,28].



Gambar 5. Persentase Biokonversi Massa Sampah Komposisi SM:SY

Pada Gambar 5, dari total reduksi sampah SM:SY sebesar 80–95%, sebanyak 2–4% nya merupakan proses biokonversi sampah menjadi lemak dalam tubuh larva. Bila dibandingkan dengan proses dekomposisi alami tanpa menggunakan larva yang hanya sekitar 20% (data kontrol SM:SY), peran larva BSF dalam proses reduksi sampah menjadi sangat signifikan.

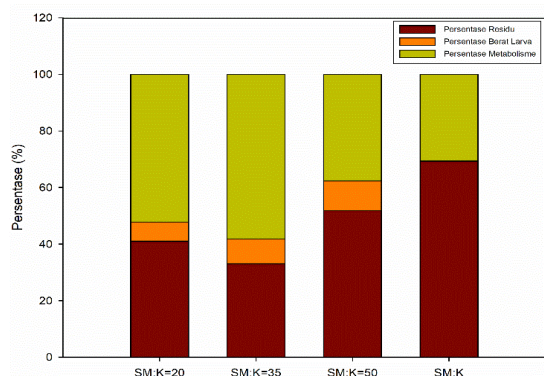


Gambar 6. Persentase Biokonversi Massa Sampah Komposisi SM:B

Pada Gambar 6 diketahui bahwa tingkat reduksi sampah SM:B pada *feeding rate* 20, 35, dan 50 mg sampah/larva.hari berkisar antara 45–95%, sedangkan sebanyak 5–55% akan menjadi residu. Berbeda dengan sampah SM:SY, persentase reduksi sampah SM:B tanpa menggunakan larva sangat besar, yakni sekitar 75%. Tingginya persentase reduksi tersebut dapat dimungkinkan oleh proses dekomposisi alami, yaitu proses penguapan kadar air sampah dan penguraian sampah oleh mikroba. Pada komposisi sampah SM:B, massa sampah yang terkonversi ke dalam berat larva hanya berkisar antara 10–20% saja.

Hal yang hampir sama, terjadi pada komposisi sampah SM:K (Gambar 7). Dari persentase reduksi sampah sekitar 50–65%, massa sampah yang terkonversi ke dalam berat larva yakni antara 5–15%. Sebanyak 30% sampah terdekomposisi alami oleh mikroba, sedangkan sekitar 35–50% akan tersisa menjadi residu. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa

proses biokonversi komposisi sampah SM:B cukup baik dalam budidaya larva BSF. Sedangkan komposisi SM:SY dan SM:K kurang mendukung budidaya larva BSF. Walaupun demikian, larva BSF masih mampu memberikan kontribusi dalam proses reduksi sampah tersebut.



Gambar 7. Persentase Biokonversi Massa Sampah Komposisi SM:K

3.3. PENGARUH RASIO C/N DAN pH TERHADAP PERTUMBUHAN BERAT LARVA

Rasio C/N dapat berpengaruh pada pertumbuhan dan perkembangan larva. Kandungan karbon bermanfaat sebagai sumber energi untuk proses metabolisme larva, sedangkan nitrogen diperlukan untuk proses pertumbuhan sel-sel dalam tubuh larva [15]. Tabel 3 menunjukkan bahwa pada rasio C/N awal sebesar 23, pertambahan berat larva pada sampah SM:B mencapai >100 mg/larva. Sedangkan pada komposisi sampah SM:SY dan SM:K, rasio C/N awal sebesar 28–30 hanya dapat meningkatkan berat larva antara 32–60 mg. Hasil yang didapat pada penelitian ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Palma dkk [29] dan Beesigamukama dkk [30]. Kedua penelitian tersebut menyebutkan bahwa pada lingkungan dengan rasio C/N rendah, akumulasi nutrisi pada tubuh larva lebih banyak dibandingkan pada lingkungan dengan rasio C/N tinggi. Tingginya kandungan nitrogen dalam makanan dapat mempercepat pertumbuhan larva BSF dan meningkatkan akumulasi biomassa dalam

tubuhnya. Ketika larva mengonsumsi makanan dengan kandungan nitrogen yang rendah, ukuran tubuhnya akan lebih kecil dibandingkan dengan larva yang mengonsumsi makanan dengan kadar nitrogen tinggi. Dengan demikian, komposisi makanan dengan rasio C/N rendah sangat diperlukan untuk meningkatkan laju pertumbuhan larva dan persentase biokonversi sampah. Sedangkan untuk makanan dengan rasio C/N tinggi, peningkatan laju pertumbuhan larva dapat dimaksimalkan dengan meningkatkan jumlah *feeding rate* [31]. Selain rasio C/N, perkembangan larva juga tergantung pada pH lingkungan. Nilai pH akan mempengaruhi kinerja enzim (amilase, lipase, dan protease) yang ada dalam usus larva [32]. Enzim tersebut berperan untuk meningkatkan kemampuan larva BSF dalam mencerna berbagai jenis sumber makanan. Masing-masing enzim dapat berperan pada kondisi pH yang berbeda. Seperti misalnya pada pH 8, aktivitas dari enzim protease akan meningkat dibandingkan pada pH asam [32]. Variasi enzim tersebut menyebabkan BSF dapat beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang berbeda. Larva BSF dapat memodifikasi pH lingkungan menjadi pH yang lebih sesuai untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidupnya. Seperti terlihat pada Tabel 3, meskipun nilai pH awal pada seluruh komposisi sampah berada pada kondisi asam (pH<5), pertambahan berat larva (terutama pada sampah SM:B) cukup tinggi, yakni >100 mg/larva. Kemampuan larva dalam beradaptasi pada pH asam dikonfirmasi pula oleh beberapa peneliti terdahulu [33,34], yang menunjukkan tingginya tingkat kelangsungan hidup (*survival rate*) larva pada kondisi lingkungan dengan pH 2–4 (>90%). Pada penelitian ini, *survival rate* larva berada dalam rentang 74–87%, sedangkan *mortality rate* berada pada kisaran 14–25%, sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Oonincx dkk. [35].

Tabel 3. Rasio C/N dan pH selama proses penelitian

Komposisi sampah	Feeding rate	Rasio C/N Awal	Rasio C/N Akhir	pH Awal	pH Akhir	Pertambahan berat larva (mg/larva)	Survival rate (%)
SM:SY	0	29,9	13,8 ± 0,0	4,4	6,8	-	-
	20	29,6	11,1 ± 0,5	4,4	6,8	32,69 ± 7,9	83 – 85
	35	30,2	12,5 ± 0,4	4,3	6,7	53,27 ± 1,6	80 – 82
	50	27,5	14,2 ± 1,1	4,5	6,8	48,80 ± 10,9	74 – 79
SM:B	0	22,2	16,9 ± 0,0	4,3	3,9	-	-
	20	23,6	14,1 ± 0,5	4,3	6,5	103,81 ± 39,0	81 – 82
	35	23,5	15,5 ± 0,4	4,3	4,4	127,06 ± 4,7	83 – 84
	50	23,0	10,7 ± 0,1	4,3	3,8	124,11 ± 13,0	82 – 85
SM:K	0	38,9	13,3 ± 0,0	5,8	7,8	-	-
	20	28,0	12,9 ± 0,7	5,6	7,8	60,83 ± 10,9	86 – 87
	35	28,7	15,6 ± 2,0	5,0	7,5	45,04 ± 9,0	86 – 87
	50	28,7	13,7 ± 3,0	5,3	7,5	46,13 ± 1,9	87

Tabel 4. Karakteristik Residu Sampah Hasil Pengolahan Larva BSF

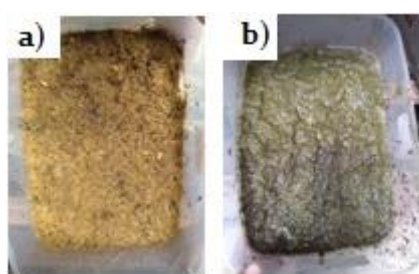
Komposisi sampah	Feeding rate (mg/larva/hr)	Suhu (°C)	pH	Kadar air (%)	C (%)	N (%)	Rasio C/N
Standar SNI Kompos		air tanah	6,80–7,49	<50	9,8–32	>0,4	10–20
SM:SY	0	25,5	6,8	83,4	16,3	1,2	13,8
	20	26,0	6,8	85,6	15,0	1,4	11,1
	35	26,0	6,7	88,9	15,4	1,2	12,5
	50	26,0	6,8	91,3	17,2	1,2	14,2
SM:B	0	26,0	3,9	90,1	17,3	1,0	16,9
	20	26,5	6,5	77,5	16,2	1,1	14,1
	35	26,5	4,4	91,5	16,3	1,0	15,5
	50	25,5	3,8	88,7	15,8	1,5	10,7
SM:K	0	26,0	7,8	24,2	23,2	1,7	13,3
	20	26,5	7,8	9,2	19,0	1,5	12,9
	35	25,0	7,5	20,9	23,0	1,5	15,6
	50	25,0	7,5	22,8	23,2	1,7	13,7

3.4. RESIDU SAMPAH HASIL PENGOLAHAN LARVA BSF

Berdasarkan Tabel 4, ketiga residu sampah (SM:SY; SM:B; dan SM:K) belum sepenuhnya memenuhi syarat standar kriteria kompos sesuai SNI 19-7030-2004. Kandungan C dan N seluruh komposisi sampah telah sesuai standar. Nilai rasio C/N yang didapat pada penelitian ini

sedikit lebih rendah dibandingkan dengan penelitian oleh Kawasaki dkk. [36], yang memperoleh hasil rasio C/N sebesar 16,6 pada sampah domestik rumah tangga. Beberapa parameter lain, seperti kadar air dan pH, belum memenuhi kriteria standar kompos. Rata-rata kadar air residu sampah masih berkisar antara 70–90%, hanya sampah dengan komposisi SM:K saja yang

kadar airnya <50%. Ditinjau dari nilai pH, komposisi sampah SM:B dan SM:K belum memenuhi syarat, karena berada di luar rentang pH yang diinginkan. Residu sampah hasil pengolahan dapat dilihat pada Gambar 8. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu ada pengeringan lanjutan pada residu sampah SM:SY, agar kadar airnya sesuai dengan kriteria standar kompos. Sedangkan untuk residu sampah yang lain, residu tersebut dapat dicampurkan ke dalam proses komposting konvensional, untuk membantu proses pematangan kompos.



Gambar 8. Residu Hasil Pengolahan Sampah: a) residu campuran SM:B; b) residu campuran SM:SY

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, tingkat reduksi sampah organik dapat mencapai 40–80% dari berat basah sampah. Persentase reduksi sampah paling tinggi (81,98%) diperoleh dari komposisi SM:SY, sedangkan pada komposisi SM:B tingkat reduksi sampah mencapai 81,23%. Pada komposisi SM:K, tingkat reduksi sampah sebesar 42,71%. Berdasarkan berat akhir larva, tingkat biokonversi tertinggi didapat pada larva yang diberikan campuran sampah SM:B dan *feeding rate* 35 mg sampah/larva.hari (yaitu 127,06 mg/larva), sehingga sangat tepat dalam budidaya larva BSF dan mendukung penerapan pengolahan sampah organik. Selain itu, dengan kandungan protein mencapai 34–59%, maka hasil pertumbuhan larva BSF selama 12 hari telah layak dimanfaatkan sebagai alternatif pakan hewan. Namun demikian, berdasarkan hasil residu sampah terolah,

semua komposisi sampah masih belum memenuhi standar kriteria kompos yang dipersyaratkan dalam SNI: 19-7030-2004. Untuk memenuhi standar tersebut, nilai kadar air yang tinggi pada residu sampah SM:SY perlu dikurangi melalui proses pengeringan. Sedangkan residu sampah SM:B dan SM:K, dapat ditambahkan ke dalam proses komposting konvensional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Aprilia, T. Tezuka, G. Spaargaren, Inorganic and Hazardous Solid Waste Management: Current Status and Challenges for Indonesia, *Procedia Environ. Sci.*, vol. 17, hal. 640–647, 2013.
- [2] D. C. Wilson, *Global Waste Management Outlook*. Nairobi: United Nations Environment Programme, 2015.
- [3] F. Hamish, Q. Tom, O. Clementine, *Food Waste Index Report 2021*. 2021.
- [4] J. Gustavsson, C. Cederberg, U. Sonesson, *Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes, and Prevention*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011.
- [5] S. H. Lee, K. I. Choi, M. Osako, J. I. Dong, Evaluation of environmental burdens caused by changes of food waste management systems in Seoul, Korea, *Sci. Total Environ.*, vol. 387, no. 1–3, hal. 42–53, 2007.
- [6] B. M. Verstappe, F. F. Pawa, B. Dortmans, A. Y Bagastyo, Market-driven Upcycling of Urban Organic Solid Waste in Indonesia, *SANDEC News*, no. 17, hal. 4–5, 2016.

- [7] B. Dortmans, S. Diener, B. Verstappen, C. Zurbrügg, *Black Soldier Fly Biowaste Processing*. Dübendorf, Switzerland: Eawag-Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 2017.
- [8] M. Gold, J. K. Tomberlin, S. Diener, C. Zurbrügg, A. Mathys, Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review, *Waste Manag.*, vol. 82, hal. 302–318, 2018.
- [9] C. Zurbrügg, B. Dortmans, A. Fadhila, B. Vertsappen, S. Diener, From pilot to full scale operation of a waste-to-protein treatment facility, *Detritus*, vol. 1, hal. 18–22, 2018.
- [10] C. H. Kim, J. Ryu, J. Lee, K. Ko, J. Lee, K. Y. Park, H. Chung, Use of black soldier fly larvae for food waste treatment and energy production in asian countries: A review, *Processes*, vol. 9, no. 1, hal. 1–17, 2021.
- [11] A. Singh, K. Kumari, An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review, *J. Environ. Manage.*, vol. 251, no. April, hal. 109569, 2019.
- [12] Y. S. Wang, M. Shelomi, Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food, *Foods*, vol. 6, no. 10, hal 1-23, 2017.
- [13] K. Proc, P. Bulak, D. Wiącek, A. Bieganski, *Hermetia illucens* exhibits bioaccumulative potential for 15 different elements – Implications for feed and food production, *Sci. Total Environ.*, vol. 723, hal. 138125, 2020.
- [14] S. Bortolini, L. I. Macavei, J. H. Saadoun, G. Foca, A. Ulrici, F. Bernini, D. Malferrari, L. Setti, D. Ronga, L. Maistrello, *Hermetia illucens* (L.) larvae as chicken manure management tool for circular economy, *J. Clean. Prod.*, vol. 262, hal. 121289, 2020.
- [15] E. S. Saragi, A. Y. Bagastyo, Reduction of Organic Solid Waste By Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) Larvae, in *ETMC (The 5th Environmental Technology and Management Conference, Bandung, Nov.2015, .*
- [16] L. Setti, E. Francia, A. Pulvirenti, S. Gigliano, M. Zaccardelli, C. Pane, F. Caradonia, S. Bortolini, L. Maistrello, D. Ronga, Use of black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae processing residue in peat-based growing media, *Waste Manag.*, vol. 95, hal. 278–288, 2019.
- [17] Z. Gao, W. Wang, X. Lu, F. Zhu, W. Liu, X. Wang, C. Lei, Bioconversion performance and life table of black soldier fly (*Hermetia illucens*) on fermented maize straw, *J. Clean. Prod.*, vol. 230, hal. 974–980, 2019.
- [18] K. B. Barragan-Fonseca, M. Dicke, J. J. A. van Loon, Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed - a review, *J. Insects as Food Feed*, vol. 3, no. 2, hal. 105–120, 2017.
- [19] H. Guo, C. Jiang, Z. Zhang, W. Lu, H. Wang, Material flow analysis and life cycle assessment of food waste bioconversion by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*

- L.), *Sci. Total Environ.*, vol. 750, hal. 141656, 2021.
- [20] AOAC, *Official Methods of Analysis*, 15th ed. Virginia: Association of Official Analytical Chemists, 1990.
- [21] S. Diener, *Valorisation of Organic Solid Waste using the Black Soldier Fly, Hermetia illucens*, in *Low and Middle-Income Countries. PhD Thesis*. ETH Zurich, Swiss, 2010.
- [22] Y. Lu, S. Zhang, S. Sun, M. Wu, Y. Bao, H. Tong, M. Ren, N. Jin, J. Xu, H. Zhou, W. Xu, Effects of different nitrogen sources and ratios to carbon on larval development and bioconversion efficiency in food waste treatment by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*), *Insects*, vol. 12, no. 6, hal. 1-14, 2021.
- [23] S. Diener, C. Zurbrügg, K. Tockner, Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates, *Waste Manag. Res.*, vol. 27, no. 6, hal. 603–610, 2009.
- [24] M. Gold, J. Egger, A. Scheidegger, C. Zurbrugg, D. Bruno, M. Bonelli, G. Tettamanti, M. Casartelli, E. Schmitt, B. Kerkaert, J. D. Smet, L. V. Campenhout, A. Mathys, Estimating black soldier fly larvae biowaste conversion performance by simulation of midgut digestion, *Waste Manag.*, vol. 112, hal. 40–51, 2020.
- [25] E. T. Danielsen, M. E. Moeller, K. F. Rewitz, Nutrient signaling and developmental timing of maturation, *Curr. Top. Dev. Biol.*, vol. 105, hal. 37–67, 2013.
- [26] L. P. Musselman, J. L. Fink, K. Narzinski, P. V. Ramachandran, S. S. Hathiramani, S. L. Cagan, T. J. Baranski, A high-sugar diet produces obesity and insulin resistance in wild-type *Drosophila*, *DMM Dis. Model. Mech.*, vol. 4, no. 6, hal. 842–849, 2011.
- [27] B. L. and I. Miguel-Aliaga, The digestive tract of *Drosophila melanogaster*, *Annu. Rev. Genet.*, vol. 47, no. 1, hal. 377–404, 2013.
- [28] A. C. N. Wong, A. S. Vanhove, P. I. Watnick, The interplay between intestinal bacteria and host metabolism in health and disease: Lessons from *Drosophila melanogaster*, *DMM Dis. Model. Mech.*, vol. 9, no. 3, hal. 271–281, 2016.
- [29] L. Palma, J. Fernandez-Bayo, D. Niemeier, M. Pitesky, J. S. VanderGheynst, Managing high fiber food waste for the cultivation of black soldier fly larvae, *npj Sci. Food*, vol. 3, no. 1, hal. 1-7, 2019.
- [30] D. Beesigamukama, B. Mochoge, N. K. Korir, K. K. M. Fiaboe, D. Nakimbugwe, F. M. Khamis, S. Subramanian, M. M. Wangu, T. Dubois, S. Ekesi, C. M. Tanga, Low-cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using black soldier fly, *Waste Manag.*, vol. 119, hal. 183–194, 2021.
- [31] R. Manurung, A. Supriatna, R. R. Esyanti, Bioconversion of rice straw waste by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.): Optimal feed rate for biomass production, *J. Entomol. Zool. Stud.*, vol. 4, no. 4, hal. 1036–1041, 2016.
- [32] W. Kim, S. Bae, K. Park, S. Lee, Y.

- Chi, S. Han, Y. Koh, Biochemical characterization of digestive enzymes in the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), *J. Asia. Pac. Entomol.*, vol. 14, no. 1, hal. 11–14, 2011.
- [33] M. Meneguz, L. Gasco, J. K. Tomberlin, Impact of pH and feeding system on black soldier fly (*Hermetia illucens*, L; Diptera: Stratiomyidae) larval development, *PLoS One*, vol. 13, no. 8, hal. 1–15, 2018.
- [34] J. Ma, Y. Lei, K. Rehman, Z. Yu, J. Zhang, W. Li, Q. Li, J. K. Tomberlin, L. Zheng, Dynamic Effects of Initial pH of Substrate on Biological Growth and Metamorphosis of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae), *Environ. Entomol.*, vol. 47, no. 1, hal. 159–165, 2018.
- [35] D. G. A. B. Oonincx, S. Van Broekhoven, A. Van Huis, J. J. A. Van Loon, Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products, *PLoS One*, vol. 10, no. 12, hal. 1–20, 2015.
- [36] K. Kawasaki, T. Kawasaki, H. Hirayasu, Y. Matsumoto, Y. Fujitani, Evaluation of fertilizer value of residues obtained after processing household organic waste with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*), *Sustain.*, vol. 12, no. 12, hal. 1-14, 2020.