

KINERJA *BLACK SOLDIER FLY LARVAES (BSFL)*, *HERMETIA ILLUCENS L.*, DALAM PENGOLAHAN LUMPUR TINJA DENGAN PENCAMPURAN SAMPAH PERIKANAN DAN SAMPAH BUAH PIDADA

INDI AZMI RIZKA AMALIA^{1*}, DYAH WULANDARI PUTRI¹

1. Program Magister Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Insitut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
Email: indiarimalia.iara@gmail.com

ABSTRAK

Sanitasi di Muara Gembong tergolong 'belum layak' karena toilet tidak terhubung dengan sistem pembuangan yang memadai, dan unit pengumpulan desentralisasi tidak sesuai standar nasional. Oleh karena itu, pengolahan lumpur tinja setempat dari sumbernya penting untuk meningkatkan akses sanitasi layak. Penggunaan Black Soldier Fly Larvae (BSFL) untuk mengolah lumpur tinja merupakan pendekatan inovatif guna mengurangi volume lumpur tinja dan menghasilkan produk yang tinggi protein sebagai pakan ternak. Namun, lumpur tinja sebagai substrat BSFL tidak mendukung pertumbuhan optimal larva karena kandungan nutrisinya rendah. Untuk meningkatkan nutrisi, co-substrate berupa limbah perikanan (IKN) dan buah pidada (PDD) ditambahkan. Tujuh variasi substrat diformulasikan, dan sekitar 100 mg substrat/larva/hari diberikan selama 12 hari. Kinerja BSFL dipantau melalui survival rate (SR), waste reduction rate (WR), dan biomass conversion rate (BCR). Hasil menunjukkan penambahan IKN secara signifikan meningkatkan kinerja BSFL ($P < 0,05$), dengan substrat 50% lumpur tinja + 50% IKN memberikan nilai SR, WR, dan BCR tertinggi. Sebaliknya, penambahan PDD menurunkan SR dan WR, terutama pada varian 50% lumpur tinja + 50% PDD (F1-S1).

Kata kunci: black soldier fly larvae, co-substrat, lumpur tinja, sanitasi

ABSTRACT

Sanitation in Muara Gembong is classified as 'inadequate' due to the absence of toilets connected to proper waste disposal systems, and decentralized collection units that do not meet national standards. Therefore, local faecal sludge treatment is crucial to improving access to proper sanitation. The use of Black Soldier Fly Larvae (BSFL) for faecal sludge treatment offers an innovative approach to reduce sludge volume while producing protein-rich animal feed. However, using faecal sludge as a substrate results in suboptimal larval growth due to low nutrient content. To enhance this, fish waste (IKN) and pidada fruit (PDD) were added as co-substrates. Seven feed substrate variations were formulated, and approximately 100 mg of substrate/larva/day was provided to BSFL for 12 days. The performance of BSFL was monitored through survival rate (SR), waste reduction rate (WR), and biomass conversion rate (BCR). The results showed that adding IKN significantly improved BSFL performance ($P < 0.05$), with the 50% faecal sludge + 50% IKN substrate achieving the highest SR, WR, and BCR. Conversely, adding PDD reduced SR and WR, particularly in the 50% faecal sludge + 50% PDD variant (F1-S1).

Keywords: black soldier fly larvae, co-substrate, fecal sludge, sanitation

1. PENDAHULUAN

Isu sanitasi merupakan isu global yang masuk ke dalam salah satu Target Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) yaitu "Air Bersih dan Sanitasi Layak". Indonesia menargetkan 0% buang air besar sembarangan (BABS) dan 15% akses sanitasi aman pada 2024, namun kenyataannya masih terdapat 5,69% praktik BABS dan capaian sanitasi aman baru menyentuh angka 7,25% pada tahun 2021 (Kementerian Kesehatan RI, 2022). Kurangnya akses sanitasi aman dan aktivitas BABS dapat menimbulkan berbagai macam vektor penyakit, salah satunya diare, tifus, demam berdarah (DBD), infeksi pencernaan akut, bahkan stunting. Pada wilayah pesisir, contohnya kecamatan Muara Gembong, Kab. Bekasi, 60% masyarakatnya masih menerapkan BABS, dimana buangan defekasinya langsung ke muara sungai Citarum (Pemerintah Provinsi Jawa Barat, 2019). Ketersediaan toilet di wilayah ini tidak terhubung dengan sistem saluran pembuangan pipa; unit pengumpulan yang terdesentralisasi setiap rumah tidak sesuai standar nasional yang telah ditetapkan, sehingga kondisi ini pun tergolong ke dalam akses belum layak. Terdapat fasilitas akses sanitasi layak bersama, berupa toilet umum disertai dengan tempat penampungan sementara, tetapi keterbatasan akses untuk penyedotan lumpur tinja pada menjadi permasalahan tambahan karena menyebabkan akumulasi lumpur tinja pada tempat penampungan dari tangki septik yang ada, sehingga pengembangan pengolahan lumpur tinja secara setempat atau langsung dari titik sumbernya menjadi penting untuk dipertimbangkan (Semiya dkk., 2015). Hal ini sebagai upaya untuk meningkatkan akses sanitasi menjadi layak sesuai dengan target pembangunan berkelanjutan.

Proses pengolahan lumpur tinja dapat dilakukan dengan menggunakan proses biokonversi menggunakan *Black Soldier Fly Larvae (BSFL)*, *Hermetia illucens L.*, untuk mendegradasi lumpur tinja dan mereduksi volume timbulan lumpur ini dengan mengubahnya menjadi produk turunan yang bermanfaat. Penggunaan BSFL untuk mengolah lumpur tinja merupakan pendekatan inovatif guna mengurangi volume lumpur tinja dan menghasilkan produk yang tinggi protein sebagai pakan ternak. BSFL dalam fase prapupa, juga dapat berperan sebagai kondisioner tanah yang prosesnya menghasilkan residu berupa kompos (Lalander dkk., 2015). Berdasarkan penelitian Purkayastha dan Sarkar (2023), penggunaan lumpur tinja sebagai substrat BSFL secara langsung menghasilkan pertumbuhan larva yang tidak optimal. Hal tersebut terjadi karena lumpur tinja memiliki kadar nutrisi yang kurang sebagai asupan pertumbuhan larva. Sehingga diperlukan penambahan material lain (co-substrat) untuk meningkatkan nutrisi dari substrat ini.

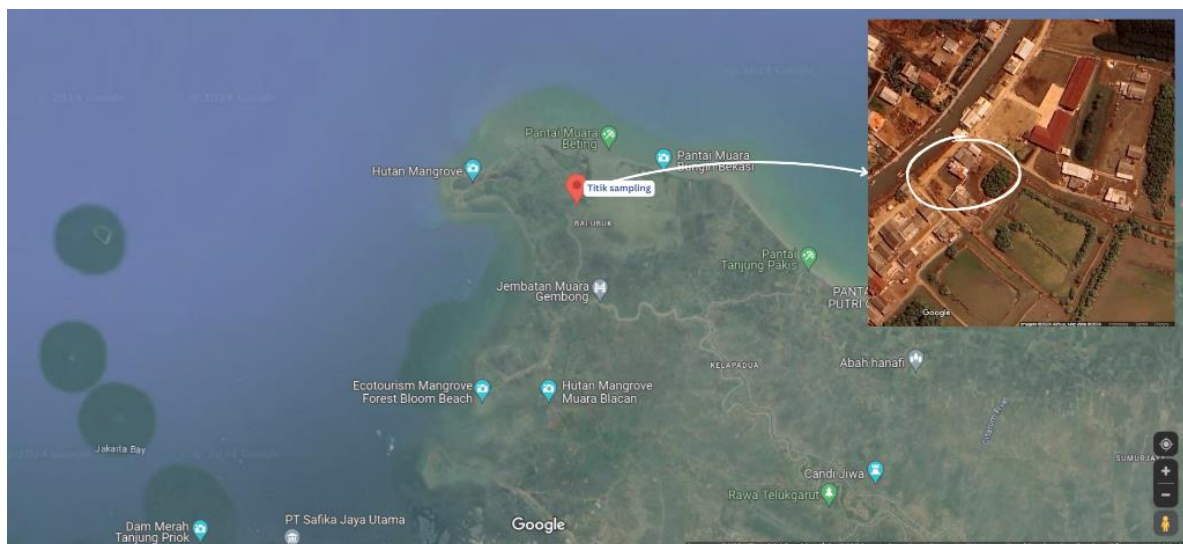
Umumnya, beberapa material dapat meningkatkan kinerja BSFL dalam mereduksi dan mengolah lumpur tinja, serta meningkatkan hasil pertumbuhan BSFL menjadi lebih baik, seperti sampah makanan, sampah taman, dan kotoran ayam (Nyakeri dkk., 2019). Dalam penelitian Lopez, dkk (2020), pemanfaatan sampah perikanan juga dapat meningkatkan hasil akhir dari proses biokonversi ini, dimana sampah ini mampu meningkatkan 60% kandungan protein dalam biomassa BSFL dan 55% kandungan nitrogen pada residu hasil proses biokonversi dengan penambahan 15% sampah perikanan dari total substrat yang digunakan pada penelitian tersebut. Sejalan dengan kondisi wilayah pesisir yang mayoritas masyarakatnya adalah nelayan dan terdapat tempat pengolahan hasil tangkapan ikan, sampah perikanan kerap kali dibuang langsung ke muara sungai dan tidak dimanfaatkan. Sebagai bentuk upaya untuk mengurangi beban pencemaran di wilayah tersebut dan memanfaatkan sumber nutrisi tambahan, sampah perikanan ini dapat digunakan sebagai salah satu campuran material untuk BSFL mengolah lumpur tinja. Selain itu, terdapat sampah organik lain yang dapat dimanfaatkan pada proses ini, yaitu sampah buah pidada dari hasil olahan produksi makanan rumah tangga. Umumnya, masyarakat hanya

menggunakan daun dan buah dari tanaman ini, sedangkan terdapat sisa olahan berupa biji buah pidada yang selalu dibuang langsung ke lingkungan.

2. METODE

2.1 Alat dan bahan

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah lumpur tinja dari tangki septik, sampah perikanan, dan sampah mangrove yang berasal dari Muara Gembong, Kab. Bekasi, yang berfungsi sebagai substrat BSFL selama proses biokonversi. Wadah biokonversi yang digunakan adalah kontainer plastik persegi panjang berkapasitas 9,6 L dengan ukuran 32 cm x 25 cm x 12 cm, yang disusun bertingkat dalam instalasi biokonversi dan ditutup dengan tirai *polyester* untuk mencegah gangguan predator. Sampel lumpur tinja direduksi dahulu kadar airnya hingga memenuhi rentang optimal antara 60-85%, sedangkan sampah perikanan dan buah pidada dicacah untuk mencapai ukuran yang seragam. Larva BSF yang digunakan dalam penelitian ini berumur 10 hari (Purkayatsha dan Sarkar, 2023) dan diperoleh dari peternak magot di Paris van Java Mall, Kota Bandung. Gambar 1 dan 2 menunjukkan sumber pengambilan lumpur tinja, sampah perikanan, dan sampah buah pidada.



Gambar 1 Titik Pengambilan Sampel Lumpur Tinja



Gambar 2 Sumber Sampah Buah Pidada pada Industri Rumahan dan Sampah Perikanan dari Industri Pengolah Ikan Asin

2.2. Substrat

Tujuh variasi (dengan tiga replikasi) disiapkan dengan rasio pencampuran lumpur tinja, sampah perikanan, dan sampah buah pidada yang berbeda (Tabel 1). Substrat untuk setiap perlakuan dihomogenkan secara menyeluruh untuk mengurangi variasi dan mensimulasikan mekanisme praperlakuan yang diterapkan dalam sistem BSFL.

Tabel 1. Variasi Pencampuran Substrat

Nama substrat	Variasi pencampuran
Kontrol	100% lumpur tinja
F1 – S1	50% lumpur tinja + 50% sampah buah pidada
F1 – S2	50% lumpur tinja + 50% sampah perikanan
F1 – S3	50% lumpur tinja + 25% sampah buah pidada + 25% sampah perikanan
F2 – S1	75% lumpur tinja + 25% sampah buah pidada
F2 – S2	75% lumpur tinja + 25% sampah perikanan
F2 – S3	75% lumpur tinja + 12,5% sampah buah pidada + 12,5% sampah perikanan
Keterangan	: Jumlah substrat total 480 gram untuk setiap perlakuan

2.3 Proses biokonversi

Feeding rate dalam penelitian ini akan menggunakan rentang dari penelitian Purkayastha dan Sarkar (2023) dan Nyakeri dkk. (2019) yaitu sebesar 100 mg substrat/larva, dengan pemberian substrat pada BSFL secara satu kali (*batch feeding*). Jumlah larva dan substrat yang digunakan menyesuaikan dengan tingkat pemberian pakan. Selanjutnya proses biokonversi ini dilakukan selama 12 hari, dengan pengujian kualitas substrat (pH, kadar air, rasio C/N, protein, lemak) dan pengukuran pertumbuhan larva.

2.5 Data analisis

Data utama yang diolah adalah parameter kinerja larva BSF, yaitu *survival rate*, *waste reduction rate*, *biomass conversion rate* (Gold dkk., 2020).

i. Survival Rate

Tingkat kelangsungan hidup larva dihitung berdasarkan perbandingan jumlah larva pada akhir ($larvae_{end}$) dan awal ($larvae_{beg}$) penelitian, dengan rumus sebagai berikut.

$$Survival\ rate = \frac{larvae_{end}}{larvae_{beg}} \times 100\% \quad (1)$$

ii. Waste Reduction (WR)

WR dihitung sebagai perbandingan massa kering sisa ($residue_{mass}$) dengan massa kering total pakan ($feed_{mass}$) yang diberikan.

$$WR = 1 - \frac{residue_{mass} (gram)}{feed_{mass} (gram)} \times 100\% \quad (2)$$

iii. Biomass Conversion Rate (BCR)

BCR merupakan tingkat efisiensi konsumsi substrat oleh BSFL. Dalam perhitungan ini, data yang digunakan merupakan data berat basah dari BSFL selama proses biokonversi, serta berat substrat awal dengan rumus sebagai berikut.

$$BCR = \frac{W_p}{C_i} \times 100\% \quad (3)$$

dengan:

W_p = berat akhir dari BSF prapupa

C_i = berat basah awal substrat

Kemudian dianalisis menggunakan uji statistika One Way ANOVA untuk mengevaluasi pengaruh variasi substrat terhadap parameter kinerja BSFL. Jika pengaruhnya signifikan secara statistik, akan dilakukan uji lanjutan (*Post Hoc test*). Proses analisa ini akan menggunakan software IBM Statistics 26.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik substrat

Substrat, yang terdiri dari campuran lumpur tinja, sampah perikanan, dan sampah buah pidada memiliki kadar air yang berada di rentang 75-85%, dengan substrat kontrol memiliki kadar air tertinggi sebesar 82,91% dan substrat F2-S3 memiliki kadar air terendah sebesar 76,69%. Dalam penelitian Dortmans, dkk. (2017), kadar air ideal untuk substrat adalah sebesar 60-80%, akan tetapi pada penelitian Oyoo, dkk. (2023) yang menggunakan lumpur tinja dan sampah dapur sebagai substrat, BSFL tetap dapat tumbuh dan berkembang saat kadar air berada di kisaran <85%. Sehingga, rentang kadar air substrat dalam penelitian ini masih tergolong dalam kondisi ideal untuk pertumbuhan larva BSF. Nilai pH memiliki pengaruh terhadap kinerja larva, dimana larva yang diberikan substrat dalam kondisi asam membutuhkan energi dan waktu untuk aklimatisasi sebelum melakukan proses metabolismenya. Dalam penelitian ini, setiap variasi substrat memiliki kisaran pH antara 7,75 - 9. Kisaran ini dianggap sebagai kondisi yang ideal karena menghasilkan pertumbuhan larva yang tinggi dalam penelitian Ma, dkk (2018), yaitu pada rentang pH 6 – 10. Makronutrien pada substrat untuk BSFL, seperti protein, karbohidrat, serat, dan lemak, memiliki pengaruh besar terhadap pertumbuhan larva dan waktu pertumbuhan. Dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran nutrisi hanya berupa protein dan lemak. Berdasarkan hasil pengukuran, substrat yang dicampurkan dengan sampah perikanan saja (F1 – S2; F2 – S2) memiliki kadar protein dan lemak tertinggi jika dibandingkan dengan campuran substrat lainnya. Sedangkan substrat yang terdapat campuran lumpur tinja dan buah pidada (F1 – S1; F2 – S1) memiliki kandungan nutrisi terendah. Rincian hasil pengujian karakteristik awal substrat tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Awal Substrat

Parameter	Variasi Substrat						
	Kontrol	F1 – S1	F1 – S2	F1 – S3	F2 – S1	F2 – S2	F2 – S3
pH	7,72	7,93	8,99	8,89	7,75	8,49	8,17
Protein (%)	20,65	13,43	26,21	19,82	17,04	23,43	20,24
Lemak (%)	9,30	6,45	29,25	17,85	7,88	19,28	13,58
Kadar Air (%)	82,91	78,88	81,56	81,24	77,46	78,43	76,69
Nilai Karbon (%)	41,39	52,17	41,02	52,81	54,41	52,07	59,32
Total Nitrogen (%)	0,47	1,75	2,58	2,47	1,72	3,78	2,28
Rasio C/N	88,06	29,85	15,87	21,35	31,64	13,78	26,07

3.2 Pertumbuhan larva BSF

Gambar 3 menunjukkan pertumbuhan larva BSF dalam waktu 12 hari pada setiap variasi substrat. Pengukuran pertumbuhan larva BSF ini menggunakan massa 10% populasi larva BSF (400 ekor) yang digunakan selama proses biokonversi penelitian ini. Larva berumur 10 hari yang diberikan variasi substrat campuran menghasilkan pertumbuhan yang berbeda serta terdapat fase penurunan massa tubuh larva. Pada substrat Kontrol; F1-S1; F1-S3; dan

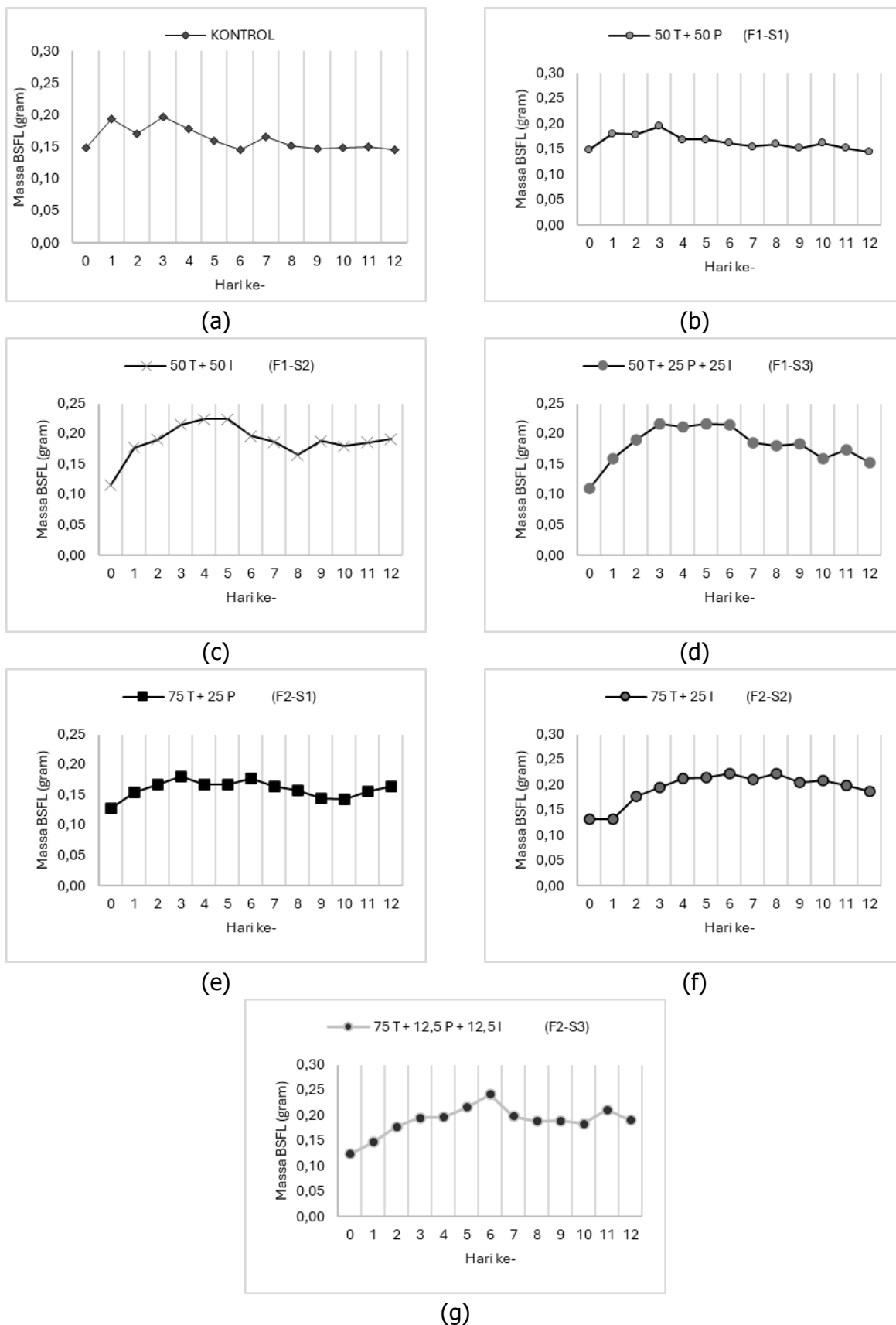
F2-S1, larva tumbuh maksimum sampai hari ketiga, kemudian mengalami penurunan massa pada hari keempat. Sedangkan pada substrat yang terdapat campuran sampah perikanan, larva tetap berkembang hingga hari keempat (F1-S2), dan keenam (F2-S2; F2-S3). Ada kemungkinan bahwa substrat kontrol; F1-S1; F1-S3; dan F2-S1 memiliki waktu pertumbuhan yang lebih singkat daripada substrat dengan campuran sampah perikanan karena jumlah nutrisi yang rendah dalam substrat tersebut, yang menyebabkan larva mengalami penurunan pertumbuhan yang lebih cepat (Oyoo dkk., 2023). Serta, terdapat faktor keberadaan nutrisi yang mudah dicerna oleh larva BSF, seperti gula sederhana dari campuran sampah buah pidada, sehingga larva memenuhi kebutuhannya lebih cepat dibandingkan menggunakan protein dan lemak yang terkandung dalam campuran sampah perikanan. Ketika sumber nutrisi dari substrat sudah berkurang, larva akan mengakumulasi nutrisi protein dan lemak dari tubuhnya untuk digunakan sebagai cadangan energi dalam proses metabolisme untuk tetap bertahan hidup, sehingga hal ini berdampak pada penurunan massa larva. Selain itu, jika larva sudah mencapai tahap maksimum pertumbuhan dan memasuki fase prepupa, larva akan menggunakan sebagian besar energi mereka untuk mempersiapkan metamorfosis; selama tahap ini, larva akan makan lebih sedikit dan bergantung pada cadangan internal tubuhnya dan berdampak pada penurunan massa badannya juga.

Pola pertumbuhan larva BSF yang mengalami kenaikan dan penurunan di hari tertentu umumnya disebabkan oleh proses metabolisme nutrisi dari substrat ke badan larva BSF sendiri. Pertumbuhan larva BSF diatur oleh badan lemak larva sebagai respons terhadap nutrisi dari substrat. Adanya asam amino dalam protein substrat yang dimakan oleh larva memengaruhi badan lemak larva untuk mengeluarkan hormon seperti insulin ke otak larva, yang memulai proses metabolisme yang kompleks dan akhirnya mengarah pada pertumbuhan larva. Proses ini dikenal sebagai *insulin/insulin-like growth factor* (IIS) dan jalur *Target of rapamycin* (TOR), yang ditekan ketika substrat tidak menyediakan nutrisi yang cukup (protein rendah), sehingga mengurangi laju pertumbuhan larva dan membutuhkan waktu pertumbuhan yang lama (Gold dkk., 2018).

Waktu pertumbuhan larva BSF pada penelitian ini adalah yang tersingkat. Purkayastha dan Sarkar (2023) melaporkan bahwa dengan larva BSF yang diberikan pakan tinja manusia dan sampah dapur dengan feeding rate 200 mg substrat/larva, memiliki rata-rata waktu pertumbuhan 14 – 16 hari, serta penelitian Oyoo, dkk., (2023) dengan penggunaan substrat yang sama tetapi dengan rasio 1:1, larva BSF tumbuh maksimum pada durasi 21 hari. Sedangkan pada penelitian Diener, dkk. (2011) dan Nyakeri dkk. (2019), larva tumbuh maksimum saat durasi 27 dan 21 hari.

Untuk memperkuat adanya pengaruh pencampuran substrat terhadap pertumbuhan larva BSF, dilakukan uji signifikansi menggunakan One Way ANOVA antar jenis variasi substrat. Nilai uji signifikansi menunjukkan bahwa nilai Sig. < 0,05, artinya bahwa penambahan sampah perikanan dan sampah buah pidada memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan massa larva BSF. Kemudian hasil uji POST HOC Tukey's HSD menunjukkan perbandingan rata-rata massa larva BSF yang diberikan substrat F2 – S2 menghasilkan perbedaan yang signifikan dengan varian substrat Kontrol, F1 – S1, F2 – S1, serta larva BSF yang diberikan substrat F2 – S1 memiliki perbedaan rata-rata yang signifikan dengan varian F2 – S3.

Kinerja black soldier fly larvae (BSFL), Hermetia illucens L., dalam pengolahan lumpur tinja dengan pencampuran sampah perikanan dan sampah buah pidada



Gambar 3 Pertumbuhan Massa Larva BSF Berdasarkan Variasi Substrat: (a) Kontrol; (b) F1 – S1; (c) F1 - S2; (d) F1 – S3; (e) F2 – S1; (f) F2 – S2; (g) F2 – S3

3.3 Protein dan Lemak pada BSFL

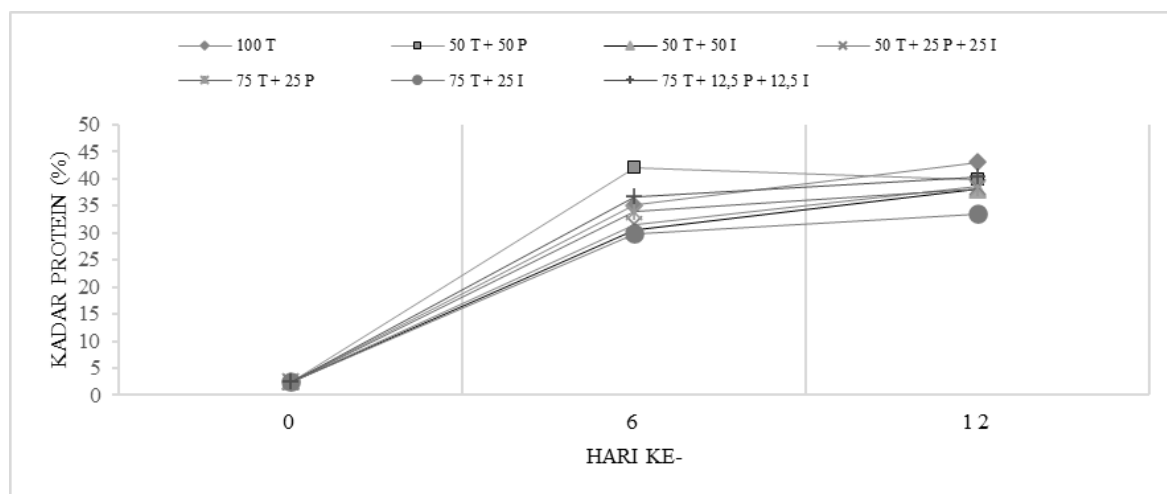
Gambar 4 menunjukkan perubahan kadar protein dan lemak selama proses biokonversi pada larva BSF. Kadar protein dan lemak awal pada larva BSF diuji secara kolektif sebelum diinokulasi dengan masing-masing variasi substrat. Pada hari ke-0, kadar protein larva BSF yang berumur 10 hari tergolong rendah, yaitu sebesar 2,52%. Ketika memasuki durasi hari ke-6, larva BSF mengalami kenaikan yang signifikan hingga 30-40%, dengan substrat F1 – S1 mengalami kenaikan tertinggi hingga 42,2% dan substrat F2 – S2 mengalami kenaikan terendah hingga sebesar 29,88%. Pada hari ke-12 proses biokonversi, kadar protein dalam tubuh larva terus meningkat, namun laju peningkatannya tidak signifikan pada 6 (enam) hari pertama proses biokonversi. Berbeda dengan substrat F1 – S1, kadar protein mengalami penurunan sekitar 3% pada akhir proses biokonversi tersebut. Berbeda halnya dengan kadar lemak ketika memasuki durasi hari keenam, larva BSF pada tiap variasi substrat ada yang mengalami kenaikan dan penurunan. Substrat F1 – S3 dan F2 – S2 menghasilkan peningkatan kadar lemak yang signifikan hingga menjadi sekitar 35-45%, menjadi yang tertinggi di antara semua variasi. Sedangkan pada variasi substrat lain, terjadi sedikit penurunan kadar lemak atau stabil dari kadar lemak awal. Pada hari ke-12, larva yang diberikan substrat campuran sampah perikanan mengalami kenaikan kadar lemak, yaitu F2 – S2 sebesar 0,3% dan F1 – S2 sebesar 5,3%, sehingga pada kedua variasi substrat ini menghasilkan larva BSF dengan kadar lemak terbaik. Sebaliknya, pada substrat F1 – S3 yang enam hari awal memiliki kadar lemak tertinggi, menunjukkan penurunan signifikan pada akhir proses biokonversi menjadi 28,1%.

Kenaikan kadar protein dan lemak dalam tubuh larva BSF selama proses biokonversi ini menunjukkan bahwa larva menggunakan nutrisi dari substrat untuk proses metabolisme tubuhnya. Larva BSF secara efektif memanfaatkan nutrisi dari substrat, yang terdiri dari protein, lemak, dan karbohidrat, untuk mempercepat proses pembelahan sel dan pembentukan protein yang diperlukan untuk pertumbuhan. Akibatnya, kadar protein dalam tubuh larva meningkat dengan cepat selama periode ini (Gold dkk., 2018). Namun, setelah larva mencapai ukuran dan berat tertentu, laju pertumbuhan mulai melambat seiring dengan penurunan kebutuhan energi untuk pertumbuhan, sehingga peningkatan kadar protein tidak lagi signifikan. Disisi lain, kadar lemak yang tidak mengalami kenaikan signifikan, seperti kadar protein, disebabkan oleh perbedaan fungsi dan kebutuhan nutrisi selama pertumbuhan. Lemak lebih banyak digunakan sebagai sumber energi daripada disimpan, sedangkan protein digunakan untuk sintesis jaringan tubuh yang penting.

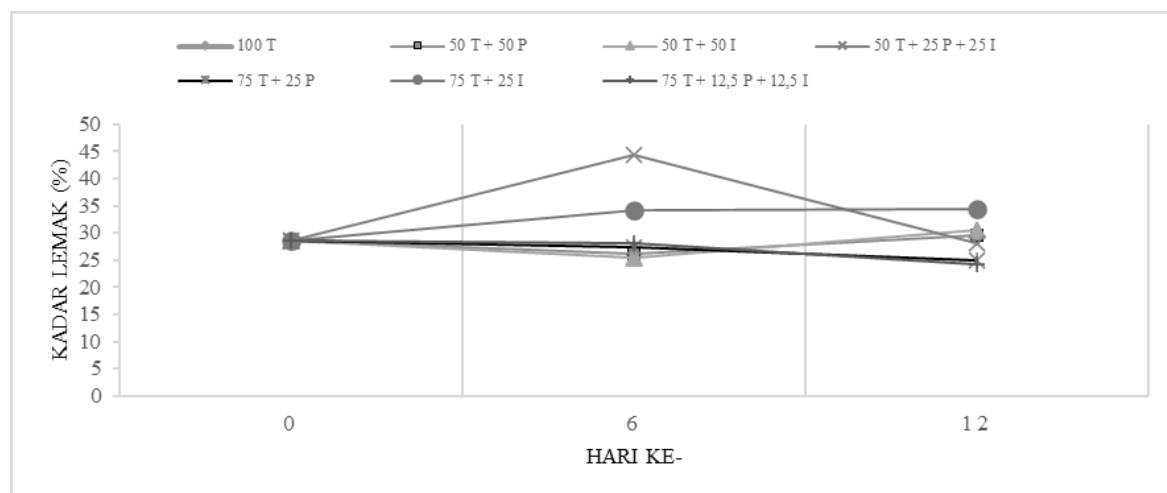
Penurunan kadar protein dan lemak secara signifikan pada larva BSF, khususnya yang terdapat pada campuran sampah buah pidada, dapat disebabkan oleh kandungan tanin dan saponin dalam substrat tersebut, dimana kedua senyawa ini bersifat sebagai antinutrisi dan memengaruhi kemampuan larva untuk menyerap nutrisi secara efisien (Frutos dkk., 2004). Dalam penelitian (Ibrahim dkk., 2023), menunjukkan bahwa larva yang terpapar saponin pada LC₁₀ dan LC₂₅ mengalami penurunan kadar protein, albumin dan total lipid pada tubuhnya. Sedangkan pada penelitian (Trisnawati dkk., 2023), larva yang diberikan 20.000 ppm senyawa tanin mengalami kematian sebanyak 50% (EC₅₀).

Pada akhir proses biokonversi, kadar protein tertinggi terkandung dalam larva BSF yang diberikan substrat Kontrol (100% lumpur tinja) yaitu sebesar 43%, sedangkan yang terendah sebesar 33,48% pada larva BSF yang diberikan substrat F2 – S2, tetapi pada varian yang sama, larva BSF mengandung kadar lemak tertinggi yaitu sebesar 34,5%, sedangkan kadar lemak terendah pada varian F2 – S3 sebesar 24,1%. Kandungan nutrisi larva BSF yang diberikan lumpur tinja, hampir serupa dengan hasil penelitian Nyakeri, dkk (2017) yang menggunakan substrat lumpur tinja dari sumber toilet umum. Dalam beberapa penelitian

menunjukkan, larva BSF yang diberikan substrat limbah makanan memiliki kadar lemak lebih tinggi dibandingkan dengan larva BSF yang diberikan substrat lumpur tinja saja.



(a)



(b)

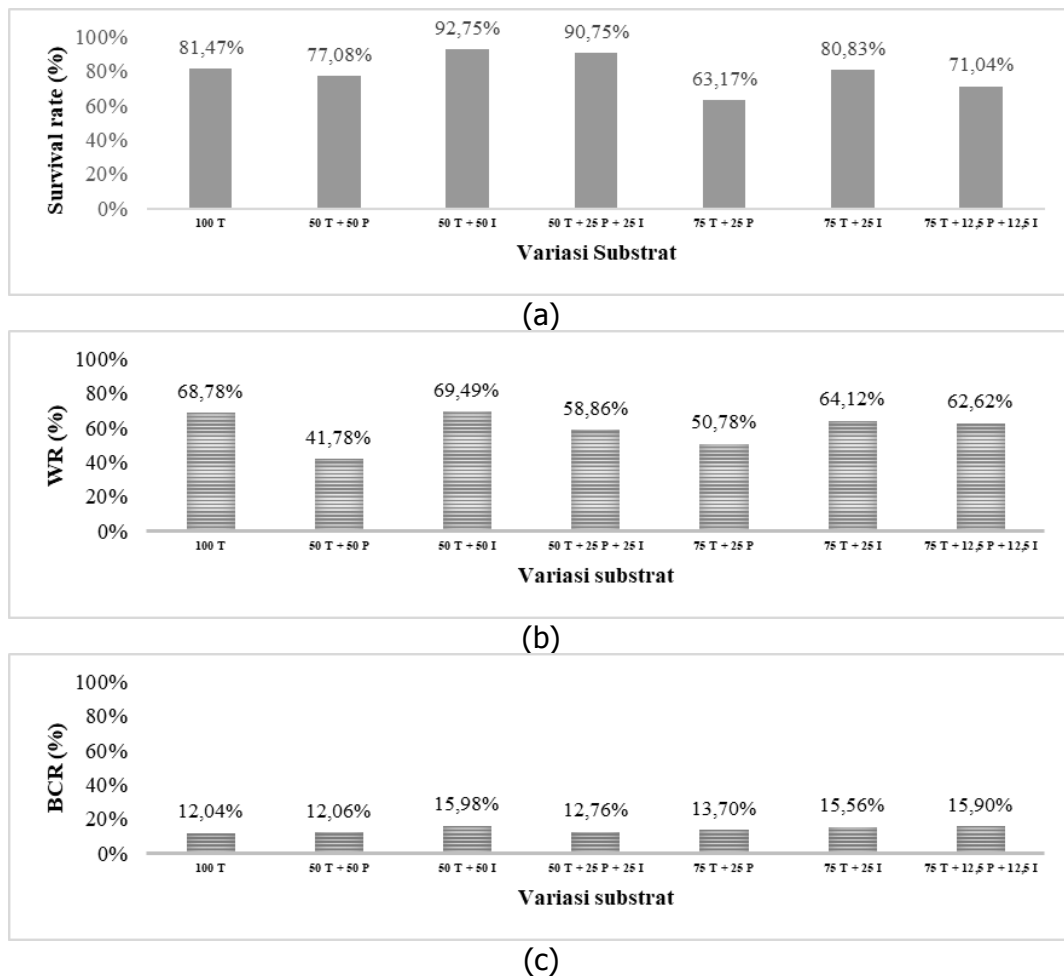
Gambar 4 Perubahan (a) Kadar Protein dan (b) Kadar Lemak Pada Larva BSF Selama Proses Biokonversi

Untuk memperkuat adanya pengaruh pencampuran substrat terhadap perubahan kadar protein dan lemak larva BSF selama proses biokonversi, dilakukan uji signifikansi. Nilai uji signifikansi menunjukkan bahwa nilai Sig. > 0,05, artinya bahwa penambahan sampah perikanan dan sampah buah pidada tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar protein dan lemak pada larva BSF selama proses biokonversi berlangsung.

3.4 Kinerja larva BSF

Gambar 5 menunjukkan hasil analisis kinerja larva BSF dalam penelitian ini. Penggunaan lumpur tinja sebagai substrat kontrol menghasilkan survival rate sebesar 81,47%, WR 68,78%, dan BCR 12,04%, sedangkan penambahan sampah perikanan ke dalam substrat secara signifikan meningkatkan kinerja larva. Pada substrat F1 – S2 (50% lumpur tinja + 50% sampah perikanan), survival rate mencapai 92,75%, WR sebesar 69,49%, dan BCR tertinggi sebesar 15,98%. Ini menunjukkan bahwa sampah perikanan memberikan nutrisi yang lebih baik bagi larva BSF, sehingga mendukung peningkatan kelangsungan hidup,

efisiensi dekomposisi substrat, dan konversi biomassa menjadi larva. Hal ini sejalan dengan penelitian Lopes dkk. (2020) penambahan sampah perikanan pada pakan larva sebanyak 5% meningkatkan BCR hingga 4%. Sebaliknya, penambahan sampah buah pidada cenderung menurunkan kinerja larva BSF. Pada substrat F1 – S1 (50% lumpur tinja + 50% sampah buah pidada), survival rate menurun menjadi 77,08%, WR turun drastis menjadi 41,78%, dan BCR hanya sedikit meningkat menjadi 12,06%. Hal ini menunjukkan bahwa sampah buah pidada kurang optimal sebagai substrat karena kemungkinan kandungan nutrisinya yang rendah atau adanya senyawa yang berpotensi toksik bagi larva BSF.



Gambar 5. Grafik Hubungan (a) *Survival Rate*; (b) *Waste Reduction*; (c) *Biomass Conversion Rate* Terhadap Variasi Substrat

Secara keseluruhan, substrat yang mengandung sampah perikanan lebih baik dibandingkan dengan campuran yang mengandung sampah buah pidada. Berdasarkan hasil penelitian ini, penggunaan sampah perikanan dalam jumlah yang lebih tinggi, terutama dalam fraksi 50% lumpur tinja dan 50% sampah perikanan (F1 – S2), memberikan hasil terbaik dalam kelangsungan hidup larva, efisiensi pengurangan substrat, dan konversi biomassa. Sebaliknya, meskipun penambahan sampah buah pidada dapat meningkatkan konversi biomassa dalam jumlah tertentu, pencampuran ini cenderung kurang efisien dan tidak mendukung peningkatan *survival rate* maupun WR.

Dibandingkan dengan penelitian lain yang menggunakan lumpur tinja atau tinja manusia sebagai substrat utama, *survival rate* pada substrat 100% lumpur tinja (Kontrol) dalam

penelitian ini tergolong rendah (Gold dkk., 2020). Namun, nilai BCR hampir serupa dengan penelitian Matheka dkk. (2021), yaitu 12,7% dengan WR 83,3%. Penambahan limbah dapur (1:1) dalam penelitian tersebut meningkatkan BCR dan WR menjadi 22,6% dan 86,6%. Selain itu, kadar protein dan lemak substrat yang lebih tinggi dalam penelitian Oyoo dkk. (2023) menghasilkan WR dan BCR yang lebih tinggi dibandingkan dengan substrat lumpur tinja dalam penelitian ini.

Berdasarkan hasil nilai uji signifikansi menunjukkan bahwa Sig. < 0,05, artinya bahwa penambahan sampah perikanan dan sampah buah pidada memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja larva BSF. Kemudian hasil uji POST HOC Tukey's HSD menunjukkan perbandingan kinerja larva BSF menghasilkan perbedaan yang signifikan antar seluruh varian substrat.

3.5 Larva BSF sebagai pakan ternak

Tabel 3 menunjukkan kualitas nutrisi yang terkandung dalam larva BSF yang telah dikeringkan pada suhu 105°C. Hasil larva BSF kering mengandung kadar protein sebesar 33,45–43% dan kadar lemak sebesar 24,1–34,5%, dimana kandungan ini hampir serupa dengan penelitian Salam dkk. (2022). Selain itu, larva BSF kering pada penelitian ini memenuhi standar minimum kadar protein untuk pakan ternak hewan udang vaname, burung berkicau, ayam ras petelur, serta lele dumbo, tetapi kadar lemak pada larva BSF kering ini melebihi dari kadar maksimal standar yang tercantum dalam beberapa SNI. Tingginya kadar lemak dalam pakan ternak menyebabkan penumpukan lemak yang berlebihan terutama pada bagian hati dan rongga perut, sehingga menurunkan tingkat kelangsungan hidup dan produksi karkas pada ayam pedaging jika diberikan langsung larva BSF kering ini (Chen dkk., 2023).

Tabel 3. Kualitas Produk Larva BSF dari Proses Biokonversi

Substrat	Protein (%)	Lemak (%)
Kontrol	43	29,3
F1 - S1	39,77	29,5
F1 - S2	37,97	30,6
F1 - S3	38,51	28,1
F2 - S1	38,15	25
F2 - S2	33,48	34,5
F2 - S3	40,31	24,1
SNI Pakan Ternak ^{a,b,c,d}	Min. 14	Maks. 6

Sumber: ^(a)SNI-7546-2009 : Pakan ternak udang vaname; ^(b)SNI-8521-2018 : Pakan ternak burung berkicau; ^(c)SNI-8290-2016 : Pakan ternak ayam ras petelur; ^(d)SNI 01-4087-2006 : Pakan ternak lele dumbo

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa larva *Black Soldier Fly* (BSF) mampu mengolah lumpur tinja dengan tingkat reduksi yang signifikan, dimana Penambahan sampah perikanan (IKN) dan sampah buah pidada (PDD) berpengaruh secara signifikan (Sig. < 0,05) terhadap kinerja larva BSF. Penambahan ko-substrate sampah perikanan pada varian F1-S2 (50% lumpur tinja dan 50% sampah perikanan) menghasilkan kinerja optimal dengan *survival rate* (SR) sebesar 92,75%, *waste reduction rate* (WR) sebesar 41,78%, dan *biomass conversion rate* (BCR) sebesar 12,06%. Sebaliknya, varian F1-S1 (50% lumpur tinja dan 50% buah pidada) menurunkan nilai WR menjadi 41,78%, sedangkan substrat kontrol (100% lumpur tinja) menghasilkan WR sebesar 68,78%. Dengan demikian, larva BSF mampu mereduksi lumpur tinja hingga 68,78% pada kondisi optimal (tanpa adanya pencampuran).

Penggunaan larva BSF dalam pengolahan lumpur tinja memberikan manfaat yang signifikan, tidak hanya dalam hal pengurangan volume lumpur, tetapi juga dalam menghasilkan biomassa yang kaya protein, yang berpotensi digunakan sebagai pakan ternak. Teknologi ini menawarkan solusi yang berkelanjutan untuk pengelolaan limbah serta memberikan potensi nilai ekonomi melalui produksi sumber protein alternatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada tim Kurita BSF dan Teknik Lingkungan ITB karena dapat membantu memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Ardana, P. D. H., Soriarta, I. K., Pamungkas, T. H., & Kasuya, I. M. D. (2022). Identifikasi Intrusi Air Laut di Daerah Pesisir Pantai Mertasari Sanur dengan Metode Vertical Electrical Sounding (VES). *Konferensi Nasional Teknik Sipil Ke-16*, 1179–1188.
- Chen, G. H., Zhang, K. Y., Tian, G., Bai, S. P., Ding, X. M., Wang, J. P., Lv, L., Xuan, Y., & Zeng, Q. F. (2023). Effects of a high-fat diet on the growth performance, lipid metabolism, and the fatty acids composition of liver and skin fat in Pekin ducks aged from 10 to 40 days. *Poultry Science*, 102(3), 102429. <https://doi.org/10.1016/J.PSJ.2022.102429>
- Gold, M., Cassar, C. M., Zurbrügg, C., Kreuzer, M., Boulos, S., Diener, S., & Mathys, A. (2020). Biowaste treatment with Black Soldier Fly larvae: Increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates. *Waste Management*, 102, 319–329. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.036>
- 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.022>
- Kementerian Kesehatan RI. (2022). Laporan Tahunan 2022: Stop Buang Air Besar Sembarangan di Indonesia. <http://p2p.kemkes.go.id/>
- Lalander, C. H., Fidjeland, J., Diener, S., Eriksson, S., & Vinnerås, B. (2015). High waste-to-biomass conversion and efficient *Salmonella* spp. reduction using Black Soldier Fly for waste recycling. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1), 261–271. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0235-4>
- Lopes, I. G., Lalander, C., Vidotti, R. M., & Vinnerås, B. (2020). Using *Hermetia illucens* larvae to process biowaste from aquaculture production. *Journal of Cleaner Production*, 251. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119753>
- Ma, J., Lei, Y., Rehman, K. U., Yu, Z., Zhang, J., Li, W., Li, Q., Tomberlin, J. K., & Zheng, L. (2018). Dynamic Effects of Initial pH of Substrate on Biological Growth and Metamorphosis of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental entomology*, 47(1), 159–165. <https://doi.org/10.1093/ee/nvx186>
- Matheka, R. M., Raude, J. M., Murunga, S. I., Riungu, J. N., & Wandera, S. M. (2021). Effect of fecal matter co-digestion with kitchen waste on *hermetia illucens*' larval weight and protein content. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 11(5), 746–757. <https://doi.org/10.2166/washdev.2021.077>
- Nyakeri, E. M., Ayieko, M. A., Amimo, F. A., Salum, H., & Ogola, H. J. O. (2019a). An optimal feeding strategy for Black Soldier Fly larvae biomass production and faecal sludge reduction. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(3), 201–213. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0017>

- Oonincx, D. G. A. B., Van Broekhoven, S., Van Huis, A., & Van Loon, J. J. A. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS ONE*, 10(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>
- Oyoo, V. A., Riungu, J. N., Matheka, R. M., Dey, P., & Kirimi, J. G. (2023). Process performance evaluation of faecal matter treatment via Black Soldier Fly. *Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development*, 13(6), 441–452. <https://doi.org/10.2166/washdev.2023.010>
- Pemerintah Provinsi Jawa Barat. (2019). Rencana Aksi Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan DAS Citarum 2019 - 2025. <https://citarumharum.jabarprov.go.id/>
- Purkayastha, D., & Sarkar, S. (2023). Performance evaluation of Black Soldier Fly larvae fed on human faeces, food waste and their mixture. *Journal of Environmental Management*, 326. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116727>
- Salam, M., Shahzadi, A., Zheng, H., Alam, F., Nabi, G., Dezhi, S., Ullah, W., Ammara, S., Ali, N., & Bilal, M. (2022). Effect of different environmental conditions on the growth and development of Black Soldier Fly Larvae and its utilization in solid waste management and pollution mitigation. *Environmental Technology and Innovation*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102649>
- Semiyaga, S., Okure, M. A. E., Niwagaba, C. B., Katukiza, A. Y., & Kansime, F. (2015). Decentralized options for faecal sludge management in urban slum areas of Sub-Saharan Africa: A review of technologies, practices and end-uses. In *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 104, pp. 109–119). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.09.001>