

Peranan Kombinasi Pakan Limbah Organik terhadap Laju Pertumbuhan dan Kandungan Nutrisi Larva Lalat Tentara Hitam (*Hermetia Illucens*)

Sri Utami Ayuningrum¹, Ramadhani Eka Putra^{2*}

^{1,2} Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung, Bandung 40132

*ramadhaniputra@itb.ac.id

Diterima: 12 Oktober 2023 | Disetujui: 2 November 2023

ABSTRAK

Jumlah limbah organik semakin bertambah seiring dengan peningkatan jumlah penduduk. Permasalahan limbah organik dapat diatasi dengan metode biokonversi menggunakan larva *Black Soldier Fly* (BSF) *Hermetia illucens*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kombinasi pakan yang terdiri atas 3 jenis limbah organik dengan kandungan makronutrien berbeda terhadap laju pertumbuhan, konsumsi pakan, *Waster Reduction Index* (WRI), *Efficiency of Conversion of Digested Feed* (ECDF), dan tingkat kelulusan hidup, dan kandungan nutrisi larva BSF yang diberi pakan limbah organik. Pakan yang diberikan merupakan campuran limbah organik yaitu isi perut ikan (kaya akan lemak), ampas tahu (kaya akan protein), dan kulit pisang (kaya akan hemiselulosa) dengan perbandingan 2:1:1, 1:2:1, 1:1:2, dan 1:1:1. Kombinasi pakan 1:1:2 memiliki laju pertumbuhan (3,47 mg/larva/hari), konsumsi pakan (25,76%), WRI (0,42%/hari), ECDF (12,91%), dan tingkat kelulusan hidup (81,38%) tertinggi. Larva BSF berpotensi untuk dijadikan alternatif pakan ternak karena mengandung kadar protein yang cukup tinggi.

Kata Kunci: *Hermetia illucens*, limbah organik, kombinasi pakan

The Role of Organic Waste Feed Combination on Growth Rate and Nutrient Content of Hermetia Illucens Larvae

ABSTRACT

The amount of organic waste is increasing along with the increase in population. The problem of organic waste can be overcome by the bioconversion method using *Black Soldier Fly* (BSF) *Hermetia illucens* larvae. This study aims to analyze the effect of combination feed with differences on the major nutrient content on survival rate, growth rate, feed consumption, *Waster Reduction Index* (WRI), *Efficiency of Conversion of Digested Feed* (ECDF), and nutritional content of BSF larvae. The feed given are fish offal (high in fat), tofu pulp (high in protein), and banana peel (high in hemicellulose) with a ratio of 2:1:1, 1:2:1, 1:1:2, and 1:1:1. Feed combination 1:1:2 has the highest value of growth rate (3.47 mg/larva/day), feed consumption (25,76%), WRI (0,42%/day), ECDF (12.91%) and survival rate (81,38%). BSF larvae is potential to be used as alternative animal feed because they contain high levels of protein.

Keywords: *Hermetia illucens*, organic waste, feed combination

PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya kepadatan penduduk, khususnya di daerah perkotaan, sampah yang dihasilkan semakin meningkat, akan tetapi, lahan untuk menampung dan mengelola sampah cukup terbatas. Berdasarkan data *Sustainable Waste Indonesia* (SWI), sebanyak 60% sampah yang ada di Indonesia merupakan sampah organik dan sisanya merupakan sampah anorganik seperti plastik, kertas, logam, kaca, dan kayu (Badan Pusat Statistik, 2017). Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan limbah sampah organik di Indonesia adalah dengan menggunakan metode biokonversi (merupakan proses perubahan limbah organik menjadi senyawa sederhana yang melibatkan organisme hidup seperti larva serangga, bakteri, dan jamur) (Doraja *et al.*, 2012). Metode biokonversi dipilih karena dapat diaplikasikan dengan menggunakan fasilitas relatif sederhana dan biaya yang rendah.

Pada penelitian ini, dipilih agen biokonversi berupa larva lalat tentara hitam *Hermetia illucens*. Spesies larva ini dipilih sebagai agen biokonversi karena memiliki beberapa keunggulan, di antaranya dapat mengkonsumsi berbagai jenis limbah organik (Banks *et al.*, 2014; Gold *et al.*, 2018; Rehman *et al.*, 2019), memiliki tingkat konsumsi material organik yang tinggi (Liu *et al.*, 2018), memiliki toleransi yang tinggi terhadap pencemar pada makanan (Gao *et al.*, 2017; Purschke *et al.*, 2017; Cho *et al.*, 2020), dapat mencegah pertumbuhan dari agen penyebar penyakit seperti lalat rumah (Wang *et al.*, 2021), bukan merupakan vektor penyakit (Hakim *et al.*, 2017), serta menghasilkan produk berupa biomassa yang dapat digunakan sebagai pakan ternak dan residu sebagai pupuk (Sarpong *et al.*, 2019; Proc *et al.*, 2020). Larva serangga ini juga memiliki kemampuan untuk mengurangi kontaminasi mikroba, senyawa kimia dari obat-obatan, dan logam berat (Lalander *et al.*, 2015; 2016; Cai *et al.*, 2018; Awasthi *et al.*, 2020; Bohm *et al.*, 2022). Lalat tentara hitam ini termasuk dalam serangga kosmopolitan, artinya dapat hidup di berbagai kondisi lingkungan (memiliki toleransi pH yang luas) (Mangunwardoyo *et al.*, 2011) dan hampir dapat ditemukan di seluruh tempat di dunia, terutama tempat dengan iklim tropis dan subtropis (Dortmans *et al.*, 2017). Siklus hidup lalat tentara hitam dari telur hingga menjadi lalat dewasa membutuhkan waktu 40-43 hari dan memiliki fase larva (maggot) yang lebih lama daripada dewasa (Caruso *et al.*, 2017).

Dalam sudut pandang nutrisi dari biomassa, kandungan protein dari biomassa larva lalat tentara hitam dapat mencapai nilai antara 30-50% (Magalhaes *et al.*, 2017; Wang & Shelomi, 2017; Gao *et al.*, 2019; Do *et al.*, 2020; Isbika *et al.*, 2021) dengan kandungan lemak hingga 30% dari berat kering (Ewald *et al.*, 2020; Isibika *et al.*, 2021). Kandungan protein dan lemak yang tinggi ini menjadikan larva lalat tentara hitam sebagai salah satu kandidat bagi sumber protein dan lemak alternatif baik sebagai pakan ternak maupun sebagai bagian dari makanan manusia.

Dalam aplikasi larva lalat tentara hitam sebagai agen biokonversi terdapat suatu kondisi dimana seringkali limbah yang digunakan sebagai pakan dalam kondisi tidak seragam. Hal ini disebabkan limbah yang seragam dan berkualitas tinggi biasanya digunakan untuk kebutuhan lain seperti sebagai pakan ternak maupun sumber energi. Seperti hewan lainnya, kandungan nutrisi dari pakan yang dikonsumsi akan mempengaruhi performa larva lalat tentara hitam dalam mencernakan limbah organik maupun komposisi nutrisi yang terdapat pada biomassa yang dihasilkan (Nguyen *et al.*, 2013; Oonincx *et al.*, 2015; Tinder *et al.*, 2017). Faktor yang memengaruhi kualitas dari nutrisi dari sumber makanan larva ini antara lain kepadatan, rasio dari komponen penyusun pakan, dan tipe dari nutrisi yang terkandung pada pakan terutama terkait dengan komposisi dari makronutrien, materi organik, protein, serat, dan lemak (Barragán-Fonseca *et al.*, 2018a, 2018b; Gold *et al.*, 2018; Lalander *et al.*, 2018).

Pada penelitian ini, digunakan simulasi kondisi lapangan dimana larva lalat tentara hitam mendapatkan makanan dalam bentuk campuran limbah organik. Limbah organik yang digunakan adalah campuran isi perut ikan air tawar (kaya akan lemak), ampas tahu (kaya akan protein), dan kulit pisang (kaya akan serat dalam bentuk hemiselulosa). Perbedaan pada kandungan dari 3 kelompok makromolekul ini dapat menghasilkan karakteristik pakan yang berbeda dan mempengaruhi kemampuan konsumsi serta pertumbuhan dari larva lalat tentara hitam.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh campuran limbah terhadap terhadap laju pertumbuhan, konsumsi pakan, kemampuan dalam mengolah limbah (dalam bentuk *Waste Reduction*

Index (WRI)), Efficiency of Conversion of Digested Feed (ECDF), tingkat kelulusan hidup, dan kandungan nutrisi larva BSF.

METODE PENELITIAN

Bahan

Larva lalat tentara hitam yang digunakan pada penelitian ini berasal dari telur yang diproduksi oleh populasi yang dipelihara pada laboratorium Toksikologi Lingkungan, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung. Telur ditetaskan di baki berukuran 45 x 30 cm dengan media tetas berupa tepung jagung yang sudah diberi sedikit air seperti. baki ditutup menggunakan kain tulle hitam dan ditunggu beberapa hari sampai telur mentas menjadi larva. Larva yang baru menetas dibiarkan tumbuh selama 7 hari di dalam baki sebelum diberi perlakuan.

Pakan larva berupa isi perut ikan air tawar didapatkan dari pedagang di pasar tradisional di sekitar lokasi penelitian. Pakan ampas tahu didapatkan dari pabrik pembuatan tahu lokal. Pakan kulit pisang didapatkan dari pedagang makanan ringan di sekitar lokasi penelitian. Sebelum digunakan, ketiga jenis pakan diblender sampai halus lalu disimpan di wadah tertutup terpisah dan dimasukkan ke dalam lemari pendingin di Laboratorium Toksikologi Lingkungan.

Metode

Pada penelitian ini, larva lalat tentara hitam berumur 7 hari dipindahkan ke dalam wadah kontainer bulat (diamater 10 cm, tinggi 7 cm) yang telah berisi kombinasi pakan jeroan ikan, ampas tahu, dan kulit pisang berdasarkan pada 4 perlakuan variasi kombinasi pakan (Tabel 1). Wadah kontainer ditutup menggunakan kain tulle hitam dan ditempatkan di tempat yang tidak terkena cahaya matahari langsung (Gambar 1).



Gambar 1. Wadah Perlakuan

Setiap perlakuan terdiri dari 200 larva dan dilakukan pengulangan perlakuan sebanyak 4 kali. Tingkat pemberian pakan yang diberikan adalah 60 mg/larva/hari.

Tabel 1. Variasi kombinasi pakan

Perlakuan	Jenis Pakan	Perbandingan Kombinasi Pakan			Total Pakan
		Jeroan Ikan	Ampas Tahu	Kulit Pisang	
1	Jeroan	30/mg/larva/hari	15/mg/larva/hari	15/mg/larva/hari	60/mg/larva/hari
2	Ikan + Ampas	15/mg/larva/hari	30/mg/larva/hari	15/mg/larva/hari	
3	Tahu + Kulit	15/mg/larva/hari	15/mg/larva/hari	30/mg/larva/hari	
4	Pisang	20/mg/larva/hari	20/mg/larva/hari	20/mg/larva/hari	

Pengambilan data dan pergantian pakan dilakukan setiap 3 hari sekali. Sisa pakan dan 5 larva dari masing-masing perlakuan diambil secara acak untuk dijadikan subsampel dan ditimbang berat basah menggunakan timbangan analitik. Sisa pakan dan subsampel larva dibungkus terlebih dahulu menggunakan alumunium foil sebelum dimasukkan ke oven. Pemberian pakan dihentikan apabila sekitar 50% larva di setiap perlakuan telah menjadi prepupa. Variabel pengamatan pada penelitian ini antara lain:

1. Laju pertumbuhan

Laju pertumbuhan larva *H. illucens* dapat diketahui melalui perhitungan biomassa. Biomassa merupakan berat larva (mg). Pengukuran biomassa larva dibagi dengan jumlah hari perlakuan untuk mendapatkan laju pertumbuhan larva (Diener *et al.*, 2009).

$$\text{Biomassa (mg)} = \frac{\text{Total berat larva kering}}{\text{Jumlah larva subsampel}}$$

$$\text{Laju pertumbuhan (mg/larva/hari)} = \frac{\text{biomassa larva}}{\text{total hari perlakuan}}$$

2. Konsumsi pakan

Konsumsi pakan adalah jumlah pakan yang dikonsumsi oleh larva selama masa perlakuan. Sisa pakan ditimbang setiap 3 hari sekali dan dibandingkan dengan berat pakan pada awal perlakuan (Diener *et al.*, 2009).

$$\text{Konsumsi pakan (\%)} = \frac{\text{Berat pakan awal} - \text{berat pakan akhir}}{\text{Berat pakan awal}} \times 100$$

3. Waste Reduction Index (WRI)

Nilai *Waste Reduction Index* (WRI) merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan larva *H. illucens* dalam mereduksi pakan. Jumlah total berat basah pakan yang diberikan setiap pergantian pakan dan sisa pakan selama perlakuan dibutuhkan untuk menghitung nilai WRI (Diener *et al.*, 2009).

$$\text{WRI (\%/hari)} = \frac{I - F}{I \times t} \times 100$$

Keterangan:

I : total pakan awal (mg)
F : residu (pakan sisa+feses) basah (mg)
t : durasi perlakuan (hari)

4. Efficiency of Conversion of Digested Feed (ECDF)

Nilai ECDF menunjukkan efisiensi konversi pakan yang dicerna oleh larva *H. illucens* untuk menjadi biomasanya. Jumlah biomassa akhir larva, total pakan perlakuan, dan total sisa pakan diperlukan untuk menghitung nilai ECDF (Scriber dan Slansky, 1981 dalam Hakim *et al.*, 2017).

$$\text{ECDF (\%)} = \frac{B}{I - F}$$

Keterangan:

B : pertambahan berat larva selama periode makan; diperoleh dari pengurangan berat akhir larva dengan berat awal larva (mg)
I : jumlah pakan yang dikonsumsi; diperoleh dari pengurangan berat awal pakan dengan berat akhir pakan (mg)
F : berat sisa pakan dan material hasil eksresi (mg)

5. Tingkat kelulusan hidup (*survival rate*)

Tingkat kelulusan hidup merupakan jumlah larva yang hidup di akhir pemeliharaan dibandingkan dengan jumlah larva yang hidup di awal pemeliharaan (Myers, *et al.*, 2008 *dalam* Hakim *et al.*, 2017).

$$\text{Survival rate} = \frac{\text{Jumlah larva hidup di akhir pemeliharaan}}{\text{Jumlah larva hidup di awal pemeliharaan}} \times 100$$

Proksimat

Analisis proksimat dilakukan di Laboratorium Nutrisi Ternak Ruminansia dan Kimia Makanan Ternak, Universitas Padjajaran, Jatinangor. Analisis proksimat dilakukan terhadap pupa *H. illucens* untuk melihat kandungan nutrisi yang dikonversi larva dari pakan yang dikonsumsi selama perlakuan. Kandungan nutrisi yang dianalisis adalah air, protein, lemak, dan serat (AOAC, 2006 *dalam* Hakim *et al.*, 2017).

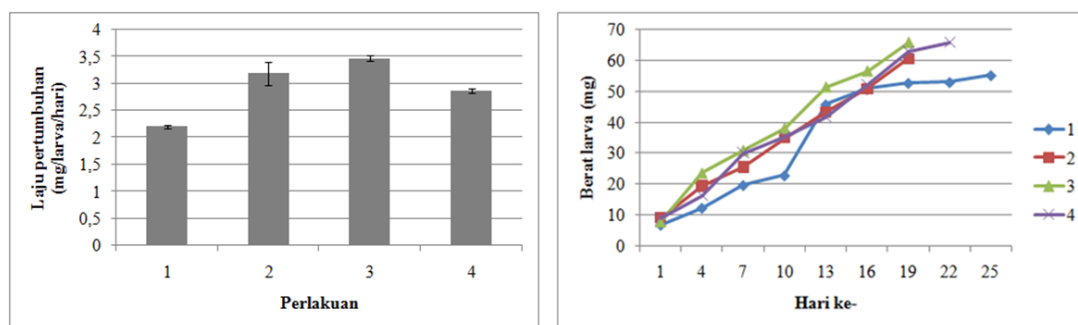
Analisa Statistik

Setiap data yang diperoleh dianalisis secara statistik menggunakan uji ANOVA (*Analysis of Variance*) dengan selang kepercayaan 95% pada *software* SPSS versi 23 untuk menentukan pengaruh dari setiap perlakuan yang diberikan pada larva *H. illucens*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju Pertumbuhan Larva Lalat Tentara Hitam

Laju pertumbuhan tertinggi ditemukan pada kelompok larva yang mendapatkan pakan perlakuan 3 dengan nilai 3,47 mg/larva/hari sedangkan nilai terendah ditemukan pada kelompok perlakuan 1 dengan nilai 2,21 mg/larva/hari. Perlakuan 3 juga menunjukkan nilai berat akhir larva tertinggi dengan nilai 65,69 mg dan nilai terendah juga ditemukan pada perlakuan 1 dengan nilai 55,27 mg. Periode perkembangan tercepat dicapai oleh perlakuan 3 (19 hari) sedangkan perkembangan terlama oleh perlakuan 1 (25 hari) (Gambar 2). Hasil pengujian statistik juga menunjukkan terdapat perbedaan signifikan pada laju pertumbuhan antar kelompok perlakuan (ANOVA, $p < 0,05$).



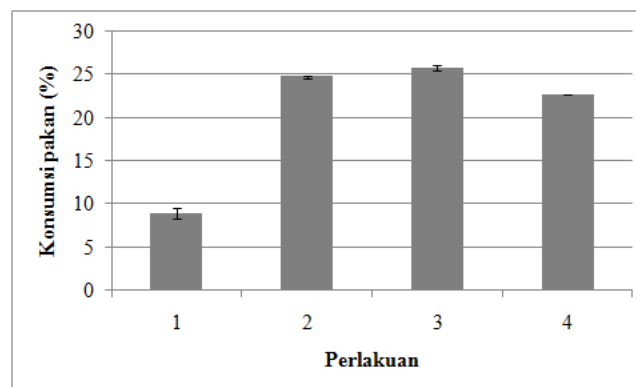
Gambar 2. Laju pertumbuhan (kiri) dan pola pertumbuhan (kanan) dari larva lalat tentara hitam yang dipelihara dengan kombinasi pakan berbeda. Angka pada legenda dari gambar menunjukkan kombinasi pakan yang diberikan.

Laju pertumbuhan dipengaruhi oleh nutrisi dari pakan. Berdasarkan hasil penelitian, kandungan lemak dan karbohidrat pada pakan merupakan faktor paling memengaruhi. Perlakuan 3 memiliki tingkat pertumbuhan paling tinggi dan waktu perkembangan dapat dipengaruhi oleh keberadaan kandungan beberapa jenis asam lemak. Sisa perut ikan memiliki kandungan lemak dan asam lemak tertinggi dibandingkan bagian lain terutama DHA (*Docosahexaenoic acid*, lebih dikenal dengan istilah Omega 3) (Khoddami *et al.*, 2009; Alfio *et al.*, 2021; Sasongko *et al.*, 2023). DHA tidak dapat dihasilkan oleh tubuh larva lalat tentara hitam dan penelitian terdahulu pada *Drosophila melanogaster* menunjukkan fungsi penting dari DHA pada pertumbuhan serta respons imun (Groen *et al.*, 2012; Champigny *et al.*,

2018). Kemungkinan DHA pada pakan berperan dalam meningkatkan performa pertumbuhan dari larva lalat tentara hitam juga dilaporkan oleh (Li *et al.*, 2022). Kecepatan pertumbuhan yang tinggi pada perlakuan 3 juga dipengaruhi oleh komposisi protein dan karbohidrat. Perlakuan 3 kemungkinan besar memiliki proporsi protein : karbohidrat pada tingkat 1 : 2 (ampas tahu adalah sumber protein dan kulit pisang sebagai sumber karbohidrat). Proporsi ini dilaporkan sebagai proporsi untuk menghasilkan tingkat pertumbuhan terbaik pada larva lalat tentara hitam (Eggink *et al.*, 2023). Pada perlakuan 1 kemungkinan terjadi penambahan asam lemak dari proses penguraian isi perut ikan yang dapat mengganggu keseimbangan metabolisme glukosa dan lemak (Zhang *et al.*, 2021), meningkatkan stres oksidatif, dan meningkatkan inflamasi (Shi *et al.* 2021).

Konsumsi Pakan oleh Larva Lalat Tentara Hitam

Konsumsi pakan tertinggi ditemukan pada kelompok 3 (25,77%) dan terendah pada kelompok 1 (8,92%) (Gambar 3). Tingkat konsumsi pakan pada kelompok 1 secara signifikan jauh lebih rendah dibandingkan pada kelompok perlakuan lainnya (ANOVA, $p < 0,05$). Hasil ini menunjukkan kemungkinan pengaruh dari karakteristik pakan pada tingkat konsumsi oleh larva lalat tentara hitam.



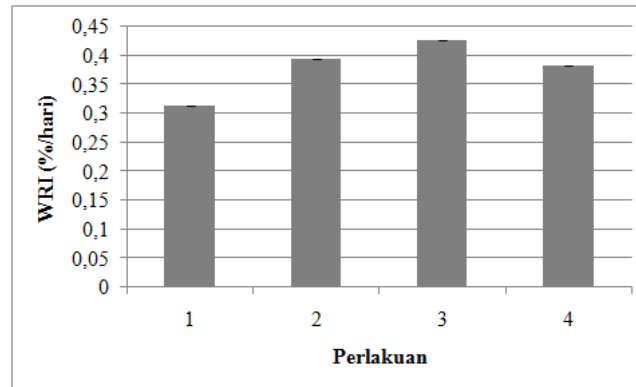
Gambar 3. Konsumsi Pakan oleh Larva Lalat Tentara Hitam

Perlakuan 1 memiliki kandungan isi perut ikan dengan jumlah yang cukup tinggi (50%), akan diuraikan oleh mikroba dengan cepat untuk menghasilkan air. Pada penelitian ini kandungan air pada substrat meningkat drastis sehingga larva hidup di dalam cairan (pengamatan pribadi). Kadar air yang optimum untuk pertumbuhan larva adalah 40-60%. Larva *H. illucens* tidak menyukai pakan dengan kadar air yang tinggi dan cenderung akan mencari tempat yang lebih kering. Kadar air yang terlalu tinggi dapat mengganggu proses konsumsi pakan oleh larva karena pakan tidak dikonsumsi maksimal (Diener *et al.*, 2009). Kemungkinan lain adalah penurunan nilai keasamaan dari substrat dimana proses penguraian isi perut ikan akan menghasilkan asam (Samaddar & Kaviraj, 2014). Nilai pH yang rendah pada substrat dapat mengganggu proses pertumbuhan dari larva lalat tentara hitam (Ma *et al.*, 2018).

Analisis Waste Reduction Index (WRI)

Nilai *Waste Reduction Index* (WRI) menunjukkan kemampuan larva untuk mengonsumsi pakan berdasarkan waktu atau periode pemberian pakan. Nilai WRI yang tinggi menunjukkan tingginya kemampuan larva untuk mereduksi pakan pada waktu tertentu. Nilai WRI tertinggi terjadi pada larva perlakuan 3 (1,93%/hari) dan nilai WRI terendah pada perlakuan 1 (1,12%/hari) (Gambar 4). Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan kombinasi pakan limbah organik memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai WRI ($p > 0,05$).

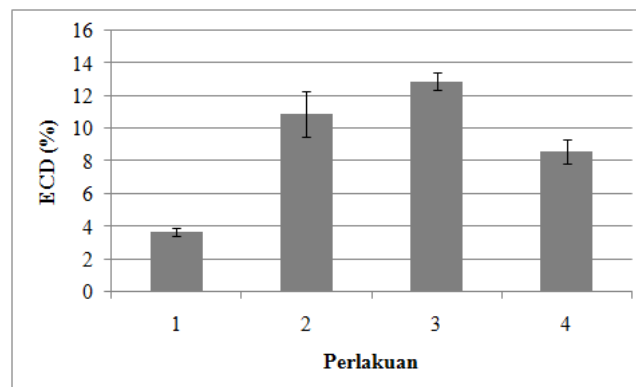
Menurut Hakim *et al.* (2017), nilai WRI sebanding dengan nilai konsumsi pakan. Nilai WRI yang rendah dapat disebabkan karena larva sudah tidak mampu lagi mengonsumsi pakan yang diberikan. Kandungan air yang terlalu tinggi pada pakan juga dapat menyebabkan reduksi pakan berkurang karena larva hanya menyerap sari dari pakan tersebut.



Gambar 4. Nilai Waste Reduction Index (WRI) pada 4 Kelompok Perlakuan

Analisis Efficiency of Conversion of Digested Feed (ECDF)

Nilai *Efficiency of Conversion of Digested Feed* (ECDF) menunjukkan tingkat efisiensi larva *H. illucens* dalam mengonversi pakan yang dikonsumsi menjadi biomassa. Nilai ECDF yang tinggi menunjukkan tingginya efisiensi konversi pakan menjadi biomassa. Nilai ECDF tertinggi terdapat pada larva perlakuan 3 (12,92%) dan terendah pada perlakuan 1 (3,68%) (Gambar 5). Berdasarkan hasil analisis statistik, nilai ECDF pada perlakuan 1 secara signifikan jauh lebih rendah dibandingkan kelompok perlakuan lain (ANOVA, $p < 0,05$).



Gambar 5. Nilai *Efficiency of Conversion of Digested Food* (ECDF) pada 4 Kelompok Perlakuan

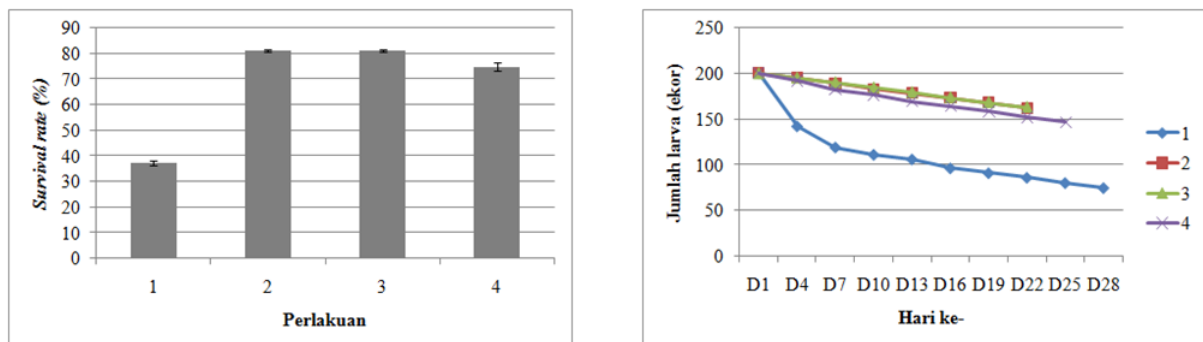
Nilai ECDF dapat dipengaruhi oleh kandungan nutrisi dan variasi pakan yang diberikan sebab larva lalat tentara hitam umumnya tidak melakukan proses pemilihan makanan. Bagian perut ikan (jeroan) merupakan bagian yang paling rentan terhadap penurunan kualitas karena jumlah bakteri dalam jeroan ikan merupakan yang terbanyak jika dibandingkan dengan bagian tubuh ikan yang lain. Bakteri yang terdapat pada jeroan ikan disebabkan karena adanya proses pembusukan. Pembusukan pada ikan dapat dihambat pada suhu dibawah 4°C, tetapi pembusukan, oleh bakteri seperti *Photobacterium phosphoreum*, *Photobacterium damsela*, *Morganella morganii*, dan *Raoultella planticola*, dapat semakin cepat terjadi jika ikan disimpan pada suhu ruang (Zaman *et al.*, 2009; Park, *et al.*, 2010). Bakteri ini dapat menyebabkan terjadinya proses fermentasi yang menurunkan nilai pH dari substrat dengan potensi mengganggu kerja dari bakteri yang terdapat pada saluran pencernaan hewan dekomposer dan bakteri yang terdapat pada substrat (Castillo *et al.*, 2013; Huang *et al.*, 2013, 2014).

Selain mengandung banyak bakteri, jeroan ikan yang telah membusuk juga mengandung kadar histamin yang tinggi. Kadar histamin pada ikan berkaitan dengan jumlah bakteri yang terdapat pada jeroan dan aktivitas enzim penghasil histamin (histidin dekarboksilase) (Park *et al.*, 2010). Histamin merupakan salah satu komponen asam lambung yang berfungsi untuk membantu menghancurkan makanan dalam proses pencernaan. Akan tetapi, jumlah histamin yang terlalu banyak dapat

mengganggu sistem pencernaan, sehingga efisiensi konversi pakan oleh larva menjadi biomassa dapat berkurang

Analisis Tingkat Kelulusan Hidup (*Survival Rate*)

Tingkat kelulusan hidup (*survival rate*) menunjukkan banyaknya larva yang mampu hidup dari awal hingga akhir pemeliharaan. Pada penelitian ini, larva memiliki nilai tingkat kelulusan hidup (*survival rate*) sebesar 37,78-81,38% (Gambar 6). Nilai *survival rate* tertinggi terdapat pada perlakuan 3 dengan jumlah larva yang hidup di akhir pemeliharaan sebanyak 162 ekor larva, sedangkan *survival rate* terendah terdapat pada perlakuan 1 dengan jumlah larva yang hidup di akhir pemeliharaan sebanyak 74 ekor larva (Gambar 6). Hasil analisis statistik menunjukkan perbedaan perlakuan kombinasi pakan limbah organik memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai *survival rate* (ANOVA, $p < 0,05$).



Gambar 6. Tingkat kelulushidupan (kiri) dan jumlah larva yang hidup selama masa pemeliharaan (kanan). Angka pada legenda dari gambar menunjukkan kombinasi pakan yang diberikan

Tingkat kelulusan hidup (*survival rate*) dipengaruhi oleh kondisi dan kandungan nutrisi pada pakan. Kondisi pakan dengan kandungan air $> 60\%$ dapat mengurangi *survival rate* karena kandungan air yang terlalu banyak menyebabkan kondisi anaerob. Dekomposisi bahan organik yang terjadi pada pakan dalam kondisi anaerob menghasilkan NH_3 (amonia) dan CH_4 (metana) yang dapat menghambat proses konsumsi pakan dan laju pertumbuhan. Larva yang tidak mampu mengonsumsi pakan akan terhambat laju pertumbuhannya dan pada akhirnya akan mati (Hakim *et al.*, 2017).

Analisis Proksimat Larva *H. illucens*

Berdasarkan Hasil analisis proksimat larva *H. illucens* dapat dilihat pada Tabel 2. Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kandungan air terbanyak terdapat pada larva perlakuan 1 (61,15%), kandungan protein dan serat terbanyak terdapat pada larva perlakuan 2 (50,35%), dan kandungan lemak terbanyak terdapat pada larva perlakuan 3 (21,37%).

Tabel 2. Analisis Proksimat Larva *H. illucens*

Perlakuan	Air (%)	Protein (%)	Serat (%)	Lemak (%)
1	61,15	45,31	2,63	19,82
2	59,08	50,35	3,36	15,56
3	58,10	47,33	3,21	21,73
4	59,92	43,99	3,04	21,57

Kemampuan larva lalat tentara hitam untuk mencerna berbagai limbah organik dan mengubahnya menjadi biomassa dibantu oleh enzim-enzim pencernaan yang terdapat di dalam tubuh larva tersebut, yaitu protease, lipase, dan amilase (Kim *et al.*, 2011). Perbedaan nutrisi pada pakan akan menyebabkan perbedaan pada kandungan nutrisi larva *H. illucens*. Menurut Tschimer & Simon (2015),

kandungan nutrisi larva *H. illucens* ditentukan oleh pakan yang dikonsumsi. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa larva *H. illucens* memiliki kandungan nutrisi yang kurang lebih sama dengan kandungan nutrisi pada pakan yang diberikan (Hakim *et al.*, 2017). Hal ini menjelaskan mengapa perlakuan 2 menghasilkan larva dengan kandungan protein tertinggi karena pakan yang diberikan kaya protein dari ampas tahu.

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan antara lain

1. Limbah organik yang heterogen dapat diolah menggunakan larva lalat tentara hitam;
2. Biomassa yang dihasilkan dengan pengolahan limbah heterogen ini memiliki kandungan protein yang lebih tinggi dibandingkan beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan limbah organik homogen;
3. Kandungan protein dan lemak yang tinggi memungkinkan biomassa untuk diaplikasikan sebagai sumber alternatif protein dan lemak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini sebagian dibiayai oleh Penelitian Hibah Kompetensi 2017 yang diterima oleh penulis korespondensi. Ucapan terima kasih juga diberikan pada Saeful Sutarya yang membantu dalam proses persiapan bahan baku dan reviewer atas komentar untuk perbaikan dari kualitas manuskrip.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfio, V.G., Manzo, C., & Micillo, R. (2021). From fish waste to value: An overview of the sustainable recovery of Omega-3 for food supplements. *Molecules* 26(4), 1002.
- Awasthi, M.K., Liu, T., Awasthi, S.K., Duan, Y., Pandey, A., & Zhang, Z. (2020). Manure pretreatments with Black Soldier Fly *Hermetia illucens* L. (Diptera: stratiomyidae): a study to reduce pathogen content. *Science of Total Environment*, 139842
- Badan Pusat Statistik. (2017). *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia 2017*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- 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 and International Health*, 19(1), 14-22.
- Barragán-Fonseca, K.B., Dicke, M., & van Loon, J.J.A. (2018a). Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 166, 761-770.
- Barragán-Fonseca, K.B., Pineda-Mejia, J., Dicke, M., & van Loon, J.J.A. (2018b). Performance of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) on vegetable residue-based diets formulated based on protein and carbohydrate contents. *Journal of Economic Entomology*, 111, 2676-2683.
- Cai, M., Hu, R., Zhang, K., Ma, S., Zheng, L., Yu, Z., & Zhang, J. (2018). Resistance of Black Soldier Fly (Diptera: stratiomyidae) larvae to combined heavy metals and potential application in municipal sewage sludge treatment. *Environmental Science Pollution Research*, 25 (2), 1559-1567.
- Caruso, D., Devic, E., Subamia, I.W., Talamond, P., & Baras, E. (2013). *Technical Handbook of Domestication and Production of Diptera Black Soldier Fly (BSF) Hermetia Illucens, Stratiomyidae*. Bogor: IPB Press.
- Castillo, J.M., Romero, E., & Nogales, R. (2013). Dynamics of microbial communities related to biochemical parameters during vermicomposting and maturation of agroindustrial lignocellulose wastes. *Bioresource Technology*, 146, 345-354.
- Champigny, C.M., Cormier, R.P.J., Simard, C.J., St-Coeur, P.-D., Fortin, S., & Pichaud, N. (2018). Omega-3 Monoacylglyceride effects on longevity, mitochondrial metabolism and oxidative stress: Insights from *Drosophila melanogaster*. *Marine Drugs*, 16, 453.

- Cho, S., Kim, C.-H., Kim, M.-J., & Chung, H. (2020). Effects of microplastics and salinity on food waste processing by Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of Ecology and Environment*, 44(1).
- Diener, S., Zurbrugg, C., & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae – establishing optimal feeding rates. *Waste Management and Research*, 27, 603-610.
- Do, S., Koutsos, L., Utterback, P.L., Parsons, C.M., de Godoy, M.R.C., & Swanson, K.S. (2020). Nutrient and AA digestibility of black soldier fly larvae differing in age using the precision-fed cecectomized rooster assay1. *Journal of Animal Science*, 98(1).
- Doraja, P. H., Shovitri, M., & Kuswyasari, N.D. (2012). Biodegradasi Limbah Domestik dengan Menggunakan Inokulum Alami dari Tangki Septik. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 1(1), 44-47.
- Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrugg, C. (2017). *Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide*. Swiss: Eawag – Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology Department of Sanitation, Water and Solid Waste for Development (Sandec).
- Eggink, K.M., Donoso, I.G., & Dalsgaard, J. (2023). Optimal dietary protein to carbohydrate ratio for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, 9(6), 789-798.
- Ewald, N., Vidakovic, A., Langeland, M., Kiessling, A., Sampels, S., Lalander, C., & Sveriges, L. (2020). Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – possibilities and limitations for modification through diet. *Waste Management*, 102, 40-47.
- Gao, Q., Wang, X., Wang, W., Lei, C., & Zhu, F. (2017). Influences of chromium and cadmium on the development of Black Soldier Fly larvae. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(9), 8637-8644.
- Gao, Z., Wang, W., Lu, X., Zhu, F., Liu, W., Wang, X., & Lei, C. (2019). Bioconversion performance and life table of black soldier fly (*Hermetia illucens*) on fermented maize straw. *Journal of Cleaner Production*, 230, 974-980.
- Gold, M., Tomberlin, J.K., Diener, S., Zurbrugg, C., & Mathys, A. (2018). Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in Black Soldier Fly larval treatment: a review. *Waste Management*, 82, 302-318.
- Groen, C.M., Spracklen, A.J., Fagan, T.N., & Tootle, T.L. (2012). *Drosophila fascin* is a novel downstream target of prostaglandin signaling during actin remodeling. *Molecular Biology of the Cell*, 23, 4567-4578.
- Hakim, A.R., Prasetya, A., & Petrus, H.T.B.M. (2017). Studi laju umpan pada proses biokonversi limbah pengolahan tuna menggunakan larva *Hermetia illucens*. *JPB Kelautan dan Perikanan*, 12(2), 181-193.
- Huang, K., Li, F., Wei, Y., Chen, X., & Fu, X. (2013). Changes of bacterial and fungal community compositions during vermicomposting of vegetable wastes by *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology*, 150, 235-241.
- Huang, K., Li, F., Wei, Y., Fu, X., & Chen, X. (2014). Effects of earthworms on physicochemical properties and microbial profiles during vermicomposting of fresh fruit and vegetable wastes. *Bioresource Technology*, 170, 45-52.
- Isibika, A., Vinnerås, B., Kibazohi, O., Zurbrugg, C., & Lalander, C. (2021). Co-composting of banana peel and orange peel waste with fish waste to improve conversion by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Journal of Cleaner Production*, 318.
- Khoddami, A., Ariffin, A.A., Bakar, J., & Ghazali, H.M. (2009). Fatty Acid Profile of the Oil Extracted from Fish Waste (Head, Intestine and Liver) (*Sardinella lemuru*). *World Applied Science Journal*, 7(1), 127-131.
- 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, 11-14.
- 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.

- Lalander, C., Senecal, J., Calvo, M.G., Ahrens, L., Josefsson, S., Wiberg, K., & Vinneras, B. (2016). Fate of pharmaceuticals and pesticides in fly larvae composting. *Science of Total Environment*, 565, 279-286.
- Lalander, C., Diener, S., Zurbrugg, C., & Vinnerås, B. (2018). 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.
- Li, X., Dong, Y., Sun, Q., Tan, X., You, C., Huang, Y., & Zhou, M. (2022). Growth and Fatty Acid composition of Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae are influenced by dietary fat sources and levels. *Animals*, 12, 486.
- Liu, Z., Minor, M., Morel, P.C.H., & Najar-Rodriguez, A.J. (2018). Bioconversion of three organic wastes by Black Soldier Fly (Diptera: stratiomyidae) larvae. *Environmental Entomology*, 47(6), 1609-1617.
- Magalhães, R., Sánchez-López, A., Leal, R.S., Martínez-Llorens, S., Oliva-Teles, A., & Peres, H. (2017). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fishmeal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 476, 79-85.
- Mangunwardoyo, W., Aulia, & Hem, S. (2011). Penggunaan bungkil inti kelapa sawit hasil biokonversi sebagai substrat pertumbuhan larva *Hermetia illucens* L (maggot). *Biota*, 16, 166-172.
- Nguyen, T.T.X., Tomberlin, J.K., & Vanlaerhoven, S. (2013). Influence of resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larval development. *Journal of Medical Entomology*, 50, 898-906.
- 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. *PloSOne*, 10, e0144601.
- Park, J.S., Lee, C.H., Macan, J., Vukusic, J., & Kipic, D. (2010). Monitoring the contents of biogenic amines in fish and fish products consumed in Korea. *Food Control*, 21, 1219-1226.
- Proc, K., Bulak, P., Wiacek, D., & Bieganski, A. (2020). *Hermetia illucens* exhibits bioaccumulative potential for 15 different elements—Implications for feed and food production. *Science of Total Environment*, 723, 138125.
- Purschke, B., Scheibelberger, R., Axmann, S., Adler, A., & Jager, H. (2017). Impact of substrate contamination with mycotoxins, heavy metals and pesticides on the growth performance and composition of Black Soldier Fly larvae (*Hermetia illucens*) for use in the feed and food value chain. *Food Additive & Contaminants*, 34(8), 1410-1420.
- Rehman, K.U., Ur Rehman, R., Somroo, A.A., Cai, M., Zheng, L., Xiao, X., Ur Rehman, A., Rehman, A., Tomberlin, J.K., Yu, Z., & Zhang, J. (2019). Enhanced bioconversion of dairy and chicken manure by the interaction of exogenous bacteria and black soldier fly larvae. *Journal of Environmental Management*, 237, 75-83.
- Sarpong, D., Oduro-Kwarteng, S., Gyasi, S.F., Buamah, R., Donkor, E., Awuah, E., & Baah, M.K. (2019). Biodegradation by composting of municipal organic solid waste into organic fertilizer using the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) (Diptera: stratiomyidae) larvae. *International Journal of Recycling Organic Waste in Agriculture*, 8(S1), 45-54.
- Sasongko, H., Zulpadly, M.H., & Farida, Y. (2023). An evaluation of potential fatty acids nutrition in snakehead fish (*Channa striata*) waste. *Food Research*, 7(4), 30-35.
- Shi, D., Han, T., Chu, X., Lu, H., Yang, X., Zi, T., Zhao, Y., Wang, X., Liu, Z., & Ruan, J. et al. (2021). An isocaloric moderately high-fat diet extends lifespan in male rats and *Drosophila*. *Cell Metabolism*, 33, 581-597.E9.
- Tinder, A.C., Puckett, R.T., Turner, N.D., Cammack, J.A., & Tomberlin, J.K. (2017). Bioconversion of sorghum and cowpea by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) larvae for alternative protein production. *Journal of Insect as Food and Feed*, 3, 121-130.
- Wang, Q., Ren, X., Sun, Y., Zhao, J., Awasthi, M.K., Liu, T., Li, R., & Zhang, Z. (2021). Improvement of the composition and humification of different animal manures by black soldier fly bioconversion. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123397.

- Wang, Y.S. & Shelomi, M. (2017). Review of black soldier Fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, 6(10).
- Zaman, M.Z., Abdulmir, A.S., Bakar, F.A., Selamat, J., & Bakar, J. (2009). A review: microbiological, physicochemical and health impact of high level of biogenic amines in fish sauce. *American Journal of Applied Sciences*, 6(6), 1199-1211.
- Zhang, J., Wu, J., Wu, M., & Tong, H. (2021). Effects of palmitic acid on growth development and metabolism of glucose and lipid in *Drosophila melanogaster*. *Modern Food Science and Technology*, 37, 114-119.