

**Pengaruh Kombinasi Makronutrien Pakan Terhadap Kelulushidupan,
Pertumbuhan dan Komposisi Nutrisi Larva Lalat
Tentara Hitam (*Hermetia illucens*)**

*Effect of Macronutrient Combination on Survivorship, Growth, and Nutritional
Content of Black Soldier Fly Larvae (Hermetia illucens)*

Dian Anggria Sari¹, Anggraeni Arum Sari², Ida Kinasih³, Ramadhani Eka Putra^{1,2}

¹Program Studi Biologi, Institut Teknologi Sumatera Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365

²Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Insitut Teknologi Bandung Labtek XI, Jl. Ganeca No.10, Lb. Siliwangi, Kecamatan Cobleng, Kota Bandung, Jawa Barat 40132

³Jurusan Biologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung Jl. A.H. Nasution No.105, Cibiru, Bandung 40614

*E-mail: ramadhani@sith.itb.ac.id

ABSTRACT

Larvae of black soldier fly (*Hermetia illucens*) has been widely applied as a biological agent for biodegradable wastes upcycling through bioconversion process. However, most of the biodegradable wastes produced from economic activities other than industrial is heterogenous. This may cause some physiological change which may alter the survivorship, growth, and efficiency of the bioconversion process. In this study, the substrate combination of macronutrients provided to black soldier fly larvae were observed to understand the larvae ability to degrade organic waste from economic activities. The substrat proportion consist of three major macronutrients (carbohydrate, protein, and lipid) and made of a mixture of decayed cabbage (*Brassica oleracea*) (source of carbohydrate), shark catfish (*Pangasius* sp.) (source of protein), and avocado (*Persea americana*) (source of lipid) which consisted of four types of substrate namely high fiber, high protein, high lipid, and balance. The feeding rate was 100 mg/larvae/day which provides every three days until 50% of larvae metamorphosed into prepupae. Mortality rate, the weight of larvae, and weight of residue (undigested substrate) were measured during substrate replacement and used to calculated survivorship rate, ECD (Efficiency of Conversion Digested-feed), AD (Approximate digestibility), and WRI (Waste Reduction Index). The proximate analysis also conducted on the harvested larvae biomass. The larvae group fed on high protein substrate showed best survivorship (64,75±2,60%), growth rate (2,97±0,166 mg/larvae/day), and AD (57,39±3,39) while the highest WRI recorded for larvae group fed on high fiber substrate and the highest ECD recorded for larvae group fed on high lipid substrate. The proximate analysis showed the best nutritional content of prepupae of larvae group fed on high protein substrate. It can be concluded that the proportion of macronutrients of substrate effect the growth and bioconversion performance of black soldier fly larvae. Some strategies related to the optimization of the bioconversion process for heterogeny substrate are discussed.

Keywords: biodegradable wastes, black soldier fly, heterogeneity, growth, nutritional content, survivorship.

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah populasi manusia berbanding lurus dengan produksi limbah padat yang dihasilkan. Pada tahun 2000, sekitar 49% populasi dunia menghasilkan limbah lebih dari tiga juta ton per harinya dan pada tahun 2021 diperkirakan produksi limbah padat akan menjadi dua kali lipat (Hoornweg *et al.* 2013) Indonesia sendiri berdasarkan data SWI (Sustainable Waste Indonesia), memproduksi 65 juta ton limbah padat setiap harinya dengan 24% limbah padat masih belum terkelola.

Secara garis besar, jenis limbah padat yang paling banyak dihasilkan adalah limbah padat organik sebesar 60% (Litbang Kemendagri 2018).

Banyak kota besar di Indonesia yang memiliki permasalahan serius dalam pengelolaan sampah, salah satunya kota Bandung. Produksi sampah Kota Bandung diperkirakan mencapai 1500 ton per hari dengan sampah organik, seperti sisa makanan dan tumbuhan, memiliki presentase terbanyak dari total sampah yang dihasilkan, yaitu

sebesar 19,8% dan 32,8% (pada tahun 2017) (Open Data Kota Bandung 2018). Lebih dari 90% limbah organik ini diangkut dan dibuang pada lokasi pembuangan limbah padat air yang berlokasi di luar Bandung.

Jumlah limbah padat organik yang kian meningkat menimbulkan berbagai dampak negatif seperti (1) berkurangnya lahan akibat tumpukan limbah padat, (2) berkontribusi dalam penyebaran penyakit, pathogen dan bau yang tidak sedap, dan (3) berkontribusi dalam meningkatkan CO₂ dunia (terutama limbah padat dari makanan) (FAO 2013). Bila dibandingkan dengan limbah anorganik, pengolahan limbah organik tidak menjadi perhatian besar adalah rendahnya nilai produk yang dihasilkan oleh proses pengolahannya. Oleh karena itu dalam beberapa dekade terakhir pendekatan yang mulai dikenalkan adalah konsep *upcycling* dari limbah organik menggunakan proses biokonversi oleh agen hayati menjadi produk-produk yang bernilai tinggi. Biokonversi sendiri merupakan proses perombakan materi organik menjadi sumber energi baru melalui aktivitas biologis dengan melibatkan organisme seperti bakteri, jamur, maupun larva serangga (Tomberlin *et al.* 2002). Salah satu agen biokonversi yang sekarang aktif digunakan adalah larva Black Soldier Fly (BSF) (*Hermetia illucens*).

Lalat BSF tersebar luas mulai dari daerah tropis hingga temperata (Čičková *et al.* 2015). Lalat ini memiliki kemampuan untuk mengkolonisasi berbagai jenis sumber daya mulai dari sisa buah-buahan dan sayuran (Kinasih *et al.* 2018; Putra *et al.* 2020), limbah makanan (Diener *et al.* 2011; Kim *et al.* 2021), hingga kotoran hewan dan manusia (Awasthi *et al.* 2020; Oonincx *et al.* 2015). Beberapa benefit dari pemanfaatan larva BSF sebagai agen biokonversi antara lain (1) larva dari lalat BSF diketahui mampu mengonversi 50% limbah yang diberikan menjadi biomassa tubuh yang tinggi protein dan lemak sebagai bahan baku bagi pakan hewan (Cummins *et al.* 2017; Wang & Shelomi 2017; Dalle Zotte *et al.* 2018; Onsongo *et al.* 2018), (2) residu yang dihasilkan dapat berperan sebagai pupuk organik (Liu *et al.* 2020), (3) proses penguraian melepaskan emisi gas rumah kaca lebih rendah dibandingkan produk yang dihasilkan dari proses penguraian limbah organik oleh mikroorganisme (Mertenat *et al.* 2019; Parodi *et al.* 2020) dan (4) menurunkan kemungkinan limbah menjadi lokasi dari pertumbuhan dari

bakteri patogen (Lalander *et al.* 2013; Q. Liu *et al.* 2008).

Beberapa penelitian terdahulu melaporkan bahwa kelulushidupan, pertumbuhan dan kemampuan biokonversi dari larva lalat tentara hitam ditentukan oleh jenis makanan yang dikonsumsi oleh larva (Kinasih *et al.* 2018, Lalander *et al.* 2019). Akan tetapi penelitian yang umum dilakukan di Indonesia terkait dengan pemanfaatan larva BSF sebagai agen biokonversi limbah padat organik menggunakan limbah homogen (satu jenis limbah). Hal ini menjadi tantangan tersendiri dalam pengolahan limbah domestik perkotaan yang bersifat heterogen dengan variasi komposisi nutrisi limbah (karbohidrat, protein, dan lemak) pada limbah padat yang sangat ditentukan oleh pola konsumsi dari masyarakat (Kiran *et al.* 2014; Nguyen *et al.* 2015). Aplikasi dari limbah padat ini dapat menghasilkan dampak bervariasi pada kemampuan serangga dekomposer dalam memperoleh nutrisi optimal, tingkat pertumbuhan, dan kelulushidupan.

Pada sudut pandang praktisi, hal ini dapat menghasilkan ketidakpastian yang tinggi dari waktu panen serta kuantitas dan kualitas produk biomassa larva yang dipanen. Kondisi ini menyebabkan pengetahuan akan dampak dari perbedaan komposisi dari tiga makromolekul nutrisi utama terhadap performa dari larva BSF dalam menguraikan limbah organik dan karakteristik nutrisi dari biomassa yang dihasilkan menjadi hal penting. Berdasarkan ini, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak dari pemberian pakan dengan proporsi sumber karbohidrat, protein, dan lemak terhadap kelulushidupan pertumbuhan, dan performa proses dekomposisi dari larva lalat tentara hitam.

METODE

Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan November-Desember 2018 di Laboratorium Uji Toksisitas Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung.

Media limbah organik uji

Kemampuan larva BSF dalam menguraikan limbah organik padat menjadi tujuan utama dari penelitian ini dan untuk mendapatkan pengetahuan tersebut maka larva BSF diberikan pakan berupa campuran limbah organik dari 3 komponen umum dari limbah organik pasar, yaitu sisa sayuran, sisa buah, dan sisa bagian tubuh hewan. Ketiga limbah ini diwakili oleh kubis (sumber karbohidrat dalam bentuk serat), sisa

ikan patin (sumber protein), dan alpukat (sumber lemak).

Kubis merupakan limbah sayuran dominan (Rusad & Santosa 2016) dengan kandungan serat 2,5 g per 100 g berat bersih (USDA 2018). Ikan patin dikenal sebagai ikan yang memiliki proporsi bagian tubuh yang tidak dapat dikonsumsi relatif tinggi. Sebagai gambaran limbah bagian tubuh ikan patin merupakan jenis ikan yang menyumbang komponen paling besar (hingga 67%) dari total limbah ikan pada industri pengolahan ikan (Suryaningrum 2008). Limbah ini relatif tidak dimanfaatkan walaupun memiliki kandungan protein yang cukup tinggi, yaitu sekitar 69% dari berat total (FatSecret 2017). Sementara itu, buah alpukat terkenal dengan kandungan lemaknya yang tinggi yaitu 9,8 g/100 g daging buah (Ariani, 2000) pada daging buah dan biji (Prasetyowati *et al.* 2010).

Aplikasi larva BSF sebagai agen biokonversi

Penelitian ini menggunakan larva BSF berumur 7 hari yang berasal dari biakan pada laboratorium Entomologi, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, Institut Teknologi Bandung. Larva diberi pakan menggunakan kombinasi dari limbah organik dengan karakteristik serat tinggi (limbah kubis (*Brassica oleracea* var. *capitata*)), protein tinggi (limbah ikan patin (*Pangasius* sp.)) dan lemak tinggi (limbah alpukat (*Persea americana*)) serta pakan seimbang dengan perbandingan P1 (2:1:1), P2 (1:2:1), P3 (1:1:2), dan P4 (1:1:1). Ransum pemberian pakan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 100 mg/larva/hari yang diberikan setiap 3 hari hingga 50% larva mencapai fase prepupa (Diener, Zurbrugg, & Tockner 2009). Semua pakan yang akan diberikan dihaluskan atau dicacah terlebih dahulu. Pakan yang akan diberikan ke larva dicampur hingga homogen sesuai rasio masing-masing perlakuan. Persediaan pakan disimpan ke dalam freezer pada suhu -20°C.

Pada masing-masing perlakuan digunakan 200 ekor larva. Larva dipelihara ke dalam wadah plastik (32 oz) yang ditutup dengan kain kasa (diameter pori 1 mm) berwarna hitam untuk menghindari terjadinya oviposisi dari serangga lain namun tetap terdapat aliran udara. Masing-masing perlakuan kemudian disimpan dalam kontainer gelap untuk mengurangi penetrasi cahaya ke larva karena diketahui larva merespon negatif terhadap cahaya.

Pengambilan data dilakukan bersamaan dengan pertukaran pakan. Subsampel larva juga diambil masing-masing sebanyak 5 ekor larva tiap perlakuan untuk mendapatkan nilai berat larva. Sisa pakan dan subsampel ditimbang lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 3-7 hari.

Tingkat kelulushidupan

Laju kelulushidupan (*Survival Rate*) yang dihitung dihitung melalui persamaan berikut:

$$SR = (\text{jumlah larva hidup}) / (\text{jumlah larva awal}) \times 100\%$$

Pertumbuhan larva

Pengambilan data dilakukan bersamaan dengan pertukaran pakan. Subsampel larva juga diambil

masing-masing sebanyak 5 ekor larva tiap perlakuan untuk mendapatkan nilai berat larva. Berat larva diukur hingga 50% larva mencapai fase prepupa.

Performa biokonversi

Performa proses biokonversi limbah organik berdasarkan kepada beberapa komponen terkait dengan kemampuan larva mencerna pakan yang diberikan. Parameter yang diukur antara lain:

(1) ECD (*Efficiency of Conversion Digested-feed*) digunakan untuk mengetahui efisiensi pakan yang dicerna oleh larva BSF yang dikonversi menjadi biomassa menggunakan persamaan:

$$ECD = \frac{P}{E-F} \times 100$$

dimana: P = berat biomassa larva, E = berat total pakan, dan F = residu pakan dan feses selama waktu (t) percobaan.

(2) AD (*Approximate Digestibility*) (Scriber & Slansky 1981) digunakan untuk mengetahui persentase kemampuan larva dalam mereduksi pakan menggunakan persamaan:

$$AD = \frac{T-R}{R} \times 100$$

dimana T = total pakan dan R = residu pakan.

(3) Nilai WRI (*Waste Reduction Index*) digunakan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan larva BSF dalam mereduksi limbah yang diberikan menggunakan persamaan:

$$WRI = \frac{D}{t} \times 100 ; D = \frac{W-R}{w}$$

dimana W = total pakan yang diberikan selama perlakuan, R = berat residu pakan tiap perlakuan, dan D = degradasi dari selisih total pakan dan residu dibagi total pakan yang diberikan. Semakin tinggi nilai WRI mengindikasikan semakin bagus efisiensi reduksi yang dilakukan oleh larva (Diener, Zurbrugg, & Tockner 2009).

Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan menggunakan program IBM SPSS 23. Uji normalitas dilakukan dengan menggunakan *One-Sample Kolmogorov-Smirnov*. Pertambahan biomassa larva, laju kelulushidupan, ECD, AD, dan WRI dianalisis menggunakan *one-way ANOVA* dengan taraf signifikansi sebesar 95% ($p < 0,05$) yang kemudian diikuti uji *Post-Hoc Tukey* untuk menunjukkan adanya perbedaan nyata antar perlakuan terhadap kombinasi pakan yang diberikan.

Analisis Proksimat

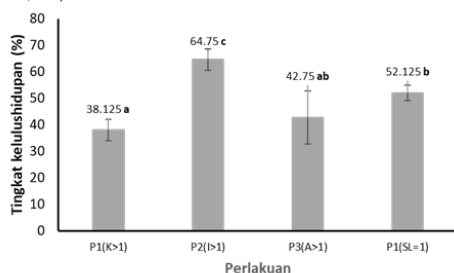
Analisis proksimat prepupa diuji dengan teknik AOAC di Laboratorium Nutrisi Ternak Ruminansia dan Kimia Makanan Ternak, Fakultas Peternakan Universitas Padjajaran, Jatinangor. Hasil analisis proksimat berupa kandungan air, serat, protein, dan lemak

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat kelulushidupan

Tingkat kelulushidupan tertinggi pada penelitian ini adalah pada kombinasi pakan

dengan jumlah limbah ikan sebagai sumber protein yang tinggi (P2, 64,75%) dengan laju kelulushidupan dan terendah berada pada perlakuan dengan tinggi serat (P1, 38,125%) (Gambar 1). Berdasarkan hasil analisis statistik terdapat perbedaan signifikan antara variasi pemberian pakan dengan laju kelulushidupan ($p < 0,05$).



*huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0,05$)

Gambar 1. Laju kelulushidupan larva BSF pada pakan

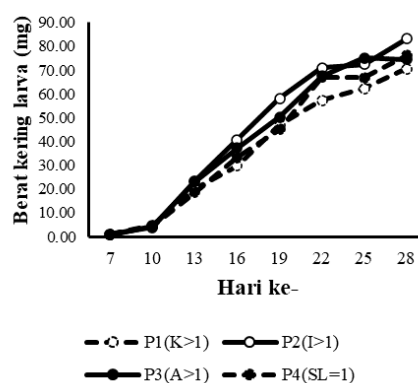
Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa protein dan karbohidrat memainkan peran lebih penting pada pertumbuhan larva dibandingkan lemak. Hal ini sesuai dengan beberapa hasil penelitian yang menyatakan proporsi antara protein dan karbohidrat adalah faktor pembatas dari pertumbuhan larva BSF (Oonincx *et al.* 2015; Cammack & Tomberlin 2017; Danieli *et al.* 2019). Hasil penelitian ini menunjukkan rendahnya nilai kelulushidupan pada kelompok larva BSF yang mendapatkan pakan dengan tingkat komposisi karbohidrat dan lemak tinggi. Beberapa penelitian telah melaporkan bahwa sayuran merupakan sumber pakan berkualitas rendah bagi larva BSF (Sprangers *et al.* 2017; Jucker *et al.* 2017). Tingkat kelulushidupan yang rendah pada kelompok larva yang mendapatkan pakan dengan komposisi lipid tinggi dapat disebabkan oleh larva BSF tidak mampu secara langsung menyerap lemak sebagai sumber energi (Danieli *et al.* 2019; Hoc *et al.* 2020).

Berdasarkan hasil analisis proksimat (Tabel 1) selain komposisi pakan, faktor lain yang dapat mempengaruhi laju kelulushidupan dari pertumbuhan larva BSF adalah kandungan air dari substrat yang diberikan sebagai pakan. Secara umum kandungan air substrat optimal bagi pertumbuhan larva BSF adalah antara 70-80% (Li *et al.* 2011; Liu *et al.* 2018; Lalander *et al.* 2019). Pada penelitian ini, tingkat kelulushidupan terendah tercatat untuk kelompok larva BSF yang mendapatkan pakan berupa limbah sayur yang memiliki kandungan air hingga 92% (Ensminger *et al.* 1994).

Tingginya kandungan air pada media pakan dapat mengakibatkan beberapa efek merugikan bagi larva yang bila berlangsung kontinyu dapat menyebabkan kematian, walaupun pada penelitian ini tidak dilakukan pengukuran pada komponen yaitu (1) menghasilkan kondisi substrat yang tidak stabil sehingga mengganggu proses respirasi pada larva (Barros *et al.* 2019), (2) proses penguraian limbah organik pada kondisi anaerob, karena terhalang oleh air dapat memicu produksi ammonia dan metana yang dapat bersifat toksik pada larva (Hakim *et al.* 2017), dan (3) penurunan suhu substrat hingga dibawah suhu optimum baru pertumbuhan larva (Cheng *et al.* 2017).

Pertambahan Biomassa Larva

Pemberian pakan dengan komposisi tinggi protein P2(I>1), menghasilkan biomassa akhir larva paling besar, yaitu 83,29 mg dan biomassa paling rendah dihasilkan pada perlakuan tinggi serat P1(K>1) yaitu sebesar 70,66 mg (Gambar 2). Namun tidak terdapat perbedaan signifikan pada pola, laju pertumbuhan dan biomassa akhir larva ($p = 0,449$).



Gambar 2. Pertambahan Berat Larva BSF pada Kombinasi 3 Macam Limbah Organik

Penelitian sebelumnya juga menunjukkan berat rata-rata prepupa terbesar dihasilkan pada pemberian pakan dengan proporsi protein lebih tinggi dibandingkan karbohidrat (Cammack & Tomberlin 2017; Lalander *et al.* 2019). Protein sendiri merupakan makronutrien penting yang digunakan serangga untuk pertumbuhan dan tujuan struktural seperti sebagai enzim, reseptor, transport, dan penyimpanan (Chapman 2013). Protein juga terkait dengan pemenuhan kebutuhan asam amino seperti arginin, histidine, leusin, isoleusin, lisin, methionine, fenilalanin, threonin, triptofan, dan

valin untuk tumbuh dan kembangnya. Apabila salah satu dari asam amino tersebut tidak terpenuhi, maka pertumbuhan akan terhambat (Nation 2016).

Di sisi lain, penelitian ini mendukung beberapa penelitian terdahulu yang melaporkan kemampuan larva BSF memiliki kemampuan untuk melakukan adaptasi dalam proses penyerapan mikronutrien, terutama bila berasal dari food waste dengan variasi komposisi sangat tinggi yang digunakan pada penelitian ini, untuk proses pertumbuhan mereka (Zhou *et al.* 2013; Bonelli *et al.* 2020).

Kemampuan larva mencerna substrat

Pada penelitian ini, kelompok larva yang mendapatkan pakan dengan kandungan lemak tinggi secara signifikan memiliki nilai ECD lebih tinggi dibandingkan kelompok larva lainnya (Tabel 1). Nilai ECD mengindikasikan seberapa efisien larva dalam mengonversi pakan menjadi biomassa tubuhnya (Diener *et al.* 2009). Selain itu, digunakan juga parameter AD untuk mengukur secara lebih akurat efisiensi konversi pakan dari larva BSF. Nilai AD dapat menentukan kemampuan mencerna makanan yang lebih spesifik pada organisme. Hasil dari penelitian ini menunjukkan nilai AD pada pakan dengan proporsi mikronutrien seimbang secara signifikan lebih rendah dibandingkan pakan tidak seimbang (Tabel 1).

Kombinasi nilai AD dan ECD dapat menentukan kualitas dan kuantitas jenis pakan dimana terdapat hubungan kontradiktif antara kedua komponen ini (Permana *et al.* 2018). Pada penelitian ini perlakuan tinggi protein P2(I>1) menghasilkan nilai AD yang tinggi sementara nilai ECD yang dihasilkan cukup rendah. Hal tersebut dapat mengindikasikan bahwa kualitas pakan dari perlakuan tinggi

protein relatif rendah sehingga larva lebih banyak mengonsumsi substrat tersebut. Proses tersebut menghasilkan residu lebih banyak sehingga menurunkan nilai ECD.

Namun, dampak pada pertumbuhan dan kelulushidupan pada kelompok ini justru lebih baik bila dibandingkan dengan kelompok lain. Larva BSF diketahui mampu mengubah protein dan lemak menjadi sumber energi sebaik pada konversi energi dari karbohidrat (Diener *et al.* 2009). Hal ini karena pada BSF terdapat enzim trypsin-like protease (Kim *et al.* 2011), bakteri simbiosis (Erickson *et al.* 2004; Jeon *et al.* 2011; Boccazzi *et al.* 2017), maupun bakteri pada substrat yang memainkan peran penting dalam proses pencernaan protein pada larva BSF (Yu *et al.* 2011). Bakteri-bakteri ini lebih lanjut lagi menghasilkan suatu komunitas microbiota yang dapat berubah berdasarkan jenis makanan maupun kondisi lingkungan (Bruno *et al.* 2019; Tanga *et al.* 2021) sehingga memungkinkan larva BSF untuk dapat mencernakan berbagai jenis substrat dengan efek minimal pada pertumbuhan mereka (Klammsteiner *et al.* 2020).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat faktor lain yang berperan dalam proses biokonversi limbah organik oleh larva BSF terkait dengan pakan yang diberikan. Terkait dengan larva serangga, terdapat 3 kategori utama dalam menentukan kualitas pakan yang dapat mempengaruhi performansi kemampuan cerna larva. Kategori tersebut yaitu ciri fisik pakan, keberadaan alelokimia, dan komposisi nutrisi (Caswell & Reed 1976; Cornaby & Bergh 1976). Berdasarkan hal ini, maka karakteristik dari pakan juga perlu ditimbang sebagai faktor tambahan dalam proses biokonversi oleh larva BSF.

Tabel 1. Parameter Pertumbuhan dan Kandungan Proksimat Larva BSF dengan Pemberian Pakan serat : protein : lemak

Kelompok	Serat Tinggi P1(K>1)	Protein Tinggi P2(I>1)	Lemak Tinggi P3(A>1)	Seimbang 4(SL=1)
Kemampuan cerna				
ECD (%)	44,76 ± 5,240 ^b	35,06 ± 2,005 ^{ab}	79,99 ± 13,722 ^c	48,14 ± 4,065 ^b
AD (%)	54,24 ± 1,886 ^{ab}	57,39 ± 3,390 ^b	53,92 ± 1,773 ^{ab}	51,96 ± 1,419 ^a
Kemampuan biokonversi				
WRI	2,27 ± 0,056 ^c	2,25 ± 0,126 ^c	1,46 ± 0,148 ^a	1,91 ± 0,051 ^b
Kandungan Proksimat				
Air (%)	57,89	59,36	60,09	59,97
Serat (%)	1,48	1,51	1,11	1,39
Protein (%)	50,46	50,79	49,11	47,72
Lemak (%)	20,17	20,14	20,68	20,29

*perbedaan huruf pada kolom yang sama menunjukkan perbedaan signifikan (p < 0,05)

Kelompok larva yang mendapatkan pakan dengan kandungan serat dan protein tinggi memiliki nilai WRI yang secara signifikan lebih baik dibandingkan kelompok larva yang mendapatkan pakan dengan lemak tinggi dan seimbang. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa terdapat tingkat konsumsi lebih tinggi pada kedua pakan ini. Terkait dengan pakan dengan kandungan serat tinggi, hasil ini berbeda dengan beberapa penelitian terdahulu yang menunjukkan efek negatif dari serat tumbuhan pada reduksi limbah (Manurung *et al.* 2016; Kinasih *et al.* 2018). Perbedaan ini kemungkinan terkait dengan perbedaan pada karakteristik pakan dimana pada penelitian terdahulu, larva hanya mendapatkan satu jenis pakan saja sedangkan pada penelitian ini larva diberikan pakan dalam bentuk heterogenya, walaupun dengan kandungan serat lebih tinggi. Pakan heterogen ini memungkinkan larva untuk mendapatkan nutrisi lain dan hal ini membantu dalam menurunkan tingkat residu dari pakan yang diberikan. Di sisi lain, hasil menunjukkan bahwa pencampuran komponen organik berbeda pada limbah dengan kandungan serat tinggi dapat meningkatkan efisiensi dari proses biokonversi, selain menggunakan pendekatan pre-treatment pakan secara fisik, kimia, maupun biologis (Isibika *et al.* 2019; Palma *et al.* 2019).

Kandungan Proksimat Larva dan Prepupa

Komposisi protein dan lemak pada larva BSF yang dipengaruhi oleh pakan yang dikonsumsi (Sheppard *et al.* 1994; St-Hilaire *et al.* 2007; Diener *et al.* 2009; Sprangers *et al.* 2017). Pada penelitian ini konsentrasi protein tertinggi pada larva ada pada pemberian pakan dengan perbandingan protein yang tinggi yaitu limbah ikan dan konsentrasi lemak tertinggi ada pada pemberian pakan dengan perbandingan lemak yang tinggi (Tabel 1).

Kandungan protein pada larva yang dihasilkan pada ini relatif tinggi beberapa penelitian lain yang memberikan pakan ayam komersial, sisa sayuran, hingga sisa ikan sebagai pakan larva BSF (pada kisaran 30-45%) (St-Hilaire *et al.* 2007; Diener, Zurbrügg, & Tockner 2009; Kinasih *et al.* 2018). Pada umumnya kandungan nutrisi pada larva ditentukan oleh pakan yang diberikan (Nguyen, Tomberlin, & Vanlaerhoven 2015; Tschirner & Simon 2015) walau efek yang dihasilkan tidak selalu linear (Oonincx *et al.* 2015). Kandungan protein yang tinggi pada penelitian ini kemungkinan merupakan dampak akumulasi

dari setiap nutrisi dari pakan yang diberikan. Penelitian lebih lanjut diperlukan terkait dengan proses perpindahan nutrisi untuk dapat memberikan informasi lebih bagi menjawab hipotesis ini.

Pada penelitian ini, tidak terdapat perbedaan signifikan untuk kandungan lemak pada larva. Hal ini kemungkinan terkait dengan proses akumulasi lemak oleh larva bagi sumber energi oleh lalat dewasa yang tidak mengonsumsi apapun selain air (Li *et al.* 2011; Mohd-Noor *et al.* 2017). Total kandungan lipid menjadi salah satu hal penting yang memicu proses metamorfosis pada lalat (Nestel, Nemny-Lavy, & Chang 2004) dan pada lalat BSF kandungan lemak tertinggi terdapat pada prepupa (X. Liu *et al.* 2017). Dengan demikian maka dapat diasumsikan bahwa larva tidak mendapatkan masalah untuk mendapatkan lemak dari pakan heterogen bagi proses metamorfosis menuju serangga dewasa.

KESIMPULAN

Perbedaan pada proporsi antara karbohidrat, protein, dan lemak pada substrat memengaruhi kelulushidupan dan performa dari larva BSF sebagai agen biokonversi limbah organik. Substrat yang memiliki proporsi sumber protein lebih tinggi, dalam hal ini pakan dengan proporsi limbah ikan patin 50% memberikan dampak terbaik baik bagi pertumbuhan maupun performa biokonversi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Indra dan Saeful selaku penyedia limbah organik, Bapak Suyitno sebagai teknisi laboratorium uji toksisitas dan entomologi yang telah membantu dalam budidaya larva. Penelitian ini sebagian dibiayai oleh dana Program pengabdian pada masyarakat Pemulihan Ekonomi 2021 dari Insitut Teknologi Bandung.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariani TR. 2000. Pengaruh tebal rajangan daging buah Alpukat (*Persea americana* MILL) dan cara ekstraksi terhadap randemen dan mutu minyak Alpukat yang dihasilkan. [Skripsi]. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian, Instut Pertanian Bogor.
- Awasthi MK, Liu T, Awasthi SK, 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 the Total Environment*. **737**: 139842.
- Barros LM, Gutjahr ALN, Ferreira-Keppler RL & Martins RT. 2019. Morphological Description of The Immature Stages of Hermetia Illucens (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae). *Microscopy Research and Technique*. **82**(3): 178-189.
- Boccazzi IV, Ottoboni M, Martin E, Comandatore F, Vallone L, Sprangers T, Eeckhout M, Mereghetti V, Pinotti L & Epis S. 2017. A Survey of the Mycobiota Associated with Larvae of the Black Soldier Fly (Hermetia Illucens) Reared for Feed Production. *PLoS ONE*. **12**(8): e0182533.
- Bonelli, M, Bruno D, Brilli M, Gianfranceschi N, Tian L, Tettamanti G, Caccia S, & Casartelli M. 2020. Black Soldier Fly Larvae Adapt to Different Food Substrates through Morphological and Functional Responses of the Midgut. *International Journal of Molecular Sciences*. **21**(14): 4955.
- Bruno D, Bonelli M, De Filippis F, Di Lelio I., Tettamanti G., Casartelli M, Ercolini D & Caccia S. 2019. The Intestinal Microbiota of Hermetia Illucens Larvae Is Affected by Diet and Shows a Diverse Composition in the Different Midgut Regions. *Applied and Environmental Microbiology*. **85**(2): e01864-18.
- Cammack, JA & Tomberlin JK. 2017. The Impact of Diet Protein and Carbohydrate on Select Life-History Traits of the Black Soldier Fly Hermetia Illucens (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Insects*. **8**(56):1-14.
- Caswell H & Reed FC. 1976. International Association for Ecology Plant-Herbivore Interactions . The Indigestibility of C₄ Bundle Sheath Cells by Grasshoppers. *Oecologia*. **26**(2): 151-156.
- Chapman, RF. 2013. *The Insects Structure and Function*. Edited by Stephen J. Simpson and Angela E. Douglas. 5th Edition. Cambridge University Press.
- Cheng JYK, Chiu SLH & Lo IMC. 2017. Effects of Moisture Content of Food Waste on Residue Separation, Larval Growth and Larval Survival in Black Soldier Fly Bioconversion. *Waste Management* **67**: 315–323.
- Čičková H, Newton GL, Lacy RC & Kozánek M. 2015. The Use of Fly Larvae for Organic Waste Treatment. *Waste Management*. Elsevier Ltd. **35**:68-80.
- Cornaby, BW & B. Bergh. 1976. Feeding Behavior of Larval Silkworms (*Bombyx mori*) on Different Shapes of Mulberry Leaves. *Environmental Entomology*. **5**(3): 595–598.
- Sheppard DC, Newton GL, Thompson SA & Savage S. 1994. A Value Added Manure Management System Using the Black Soldier Fly. *Bioresource Technology*. **50** (3): 275-279.
- Cummins, VC, Rawles SD, Thompson K, Velasquez A, Kobayashi Y, Hager J & Webster C. 2017. Evaluation of Black Soldier Fly (Hermetia Illucens) Larvae Meal as Partial or Total Replacement of Marine Fish Meal in Practical Diets for Pacific White Shrimp (*Litopenaeus Vannamei*). *Aquaculture*. **473**: 337–344.
- Dalle Zotte A, Cullere M, Martins C, Alves SP, Freire JPB, Falcao-E-Cunha L & Bessa RJB. 2018. Incorporation of Black Soldier Fly (Hermetia Illucens L.) Larvae Fat or Extruded Linseed in Diets of Growing Rabbits and Their Effects on Meat Quality Traits Including Detailed Fatty Acid Composition. *Meat Science*. **146**: 50–58.
- Danieli PP, Lussiana C, Gasco L, Amici A & Ronchi B. 2019. The Effects of Diet Formulation on the Yield , Proximate Composition , and Fatty Acid Profile of the Black Soldier Flies. *Animals*. **9**(4):178.
- Diener S, Studt Solano NM, Roa Gutiérrez F, Zurbrugg C & Tockner K. 2011. Biological Treatment of Municipal Organic Waste Using Black Soldier Fly Larvae. *Waste and Biomass Valorization*. **2**(4): 357–363.
- 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**(6): 603–610.
- Erickson MC, Islam M, Sheppard C, Liao J & Doyle MP. 2004. Reduction of Escherichia Coli O157:H7 and Salmonella Enterica Serovar Enteritidis in Chicken Manure by Larvae of the Black Soldier Fly. *Journal of Food Protection*. **67**: 685-690.
- FAO. 2013. *Edible Insects. Future Prospects for Food and Feed Security*. Food and Agriculture Organization of the United

- Nations*. Vol. 171.
- FatSecret Indonesia. 2012. *Ikan Patin*. [online] <https://www.fatsecret.co.id/kalori-gizi/umum/ikan-patin>. Diakses pada 2 Desember 2018.
- Hakim AR, Prasetya A & Petrus HTBM. 2017. Studi Laju Umpan Pada Proses Biokonversi Limbah Pengolahan Tuna Menggunakan Larva *Hermetia Illucens*. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*. **12**(2): 179–92.
- Hoc B, Genva M, Fauconnier ML, Lognay G, Francis F & Caparros MR. 2020. About Lipid Metabolism in *Hermetia Illucens* (L. 1758): On the Origin of Fatty Acids in Prepupae. *Scientific Reports*. **10**(1): 1–8.
- Hoornweg D, Bhada-Tata P & Kennedy C. 2013. Waste Production Must Peak This Century. *Nature*. **502**(7473): 615–617.
- Isibika A, Vinneras B, Kibazoshi O, Zurbrugg C & Lalander C. 2019. Pre-Treatment of Banana Peel to Improve Composting by Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Waste Management*. **100**: 151–160.
- Jeon HB, Park SY, Choi JY, Jeong GS, Lee SB, Choi YC & Lee SJ. 2011. The Intestinal Bacterial Community in the Food Waste-Reducing Larvae of *Hermetia Illucens*. *Current Microbiology*. **62**(5): 1390–1399.
- Jucker C, Erba D, Leonardi MG, Lupi D & Savoldelli S. 2017. Assessment of Vegetable and Fruit Substrates as Potential Rearing Media for *Hermetia Illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Environmental Entomology*. **46**(6): 1415–1423.
- Kim CH, Ryu JH, Lee JK, Ko KY, Lee JY, Park KY & Chung HG. 2021. Use of Black Soldier Fly Larvae for Food Waste Treatment and Energy Production in Asian Countries: A Review. *Processes*. **9**(1): 161.
- Kim WT, Bae SW, Park KH, Lee SB, Choi YC, Han SM, & Koh Y. 2011. Biochemical Characterization of Digestive Enzymes in the Black Soldier Fly, *Hermetia Illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*. **14**(1): 11–14.
- Kinasih I, Putra RE, Permana AD, Gusmara FF, Nurhadi MY & Anitasari RA. 2018. Growth Performance of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia Illucens*) Fed on Some Plant Based Organic Wastes. *HAYATI Journal of Biosciences*. **25**(2): 79–84.
- Kiran EU, Trzcinski AP, Ng WJ & Liu Y. 2014. Bioconversion of Food Waste to Energy: A Review. *Fuel*. **134**: 389–399.
- Klammsteiner T, Walter A, Bogataj T, Heussler CD, Stres B, Steiner FM, Schlick-Steiner BC, Arthofer W & Insam H. 2020. The Core Gut Microbiome of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) Larvae Raised on Low-Bioburden Diets. *Frontiers in Microbiology*. **11**: 1–14.
- Lalander C, Diener S, Magri ME, Zurbrugg C Lindstrom A & Vinnerås B. 2019. Effects of Feedstock on Larval Development and Process Efficiency in Waste Treatment with Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*). *Journal of Cleaner Production*. **208**: 211–219.
- Lalander C, Diener S, Magri ME, Zurbrugg C, Lindstrom A & Vinnerås B. 2013. Faecal Sludge Management with the Larvae of the Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) - From a Hygiene Aspect. *Science of the Total Environment*. **458–460**: 312–318.
- Lalander C, Ermolaev E, Wiklicky V & Vinneras B. 2020. Process Efficiency and Ventilation Requirement in Black Soldier Fly Larvae Composting of Substrates with High Water Content. *Science of the Total Environment*. **729**: 138968.
- Li Q, Zheng L, Qiu N, Cai H, Tomberlin JK & Yu Z. 2011. Bioconversion of Dairy Manure by Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) for Biodiesel and Sugar Production. *Waste Management*. **31**(6): 1316–1320.
- Litbang Kemendagri. 2018. Riset: 24 Persen Sampah Di Indonesia Masih Tak Terkelola. *Litbang Kemendagri*. <http://litbang.kemendagri.go.id/website/riset-24-persen-sampah-di-indonesia-masih-tak-terkelola/>. [2 Desember 2018].
- Liu Q, Tomberlin JK, Brady JA, Sanford MR & Yu ZN. 2008. Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Reduce *Escherichia Coli* in Dairy Manure. *Environmental Entomology*. **37**(6): 1525–1530.
- Liu T, Awasthi MK, Awasthi SK, Zhang Y & Zhang Z. 2020. Impact of the Addition of Black Soldier Fly Larvae on Humification and Speciation of Trace Elements during Manure Composting. *Industrial Crops and Products*. **154**: 112657.

- Liu X, Chen X, Wang H, Yang Q, Rehman KU, Li W, Cai M, Li Q, Mazza L, Zhang J, Yu Z & Zhen L. 2017. Dynamic Changes of Nutrient Composition throughout the Entire Life Cycle of Black Soldier Fly. *PLoS ONE* **12**(8): 1–21.
- Liu Z, Minor M, Morel PCH & Najjar-Rodriguez AJ. 2018. Bioconversion of Three Organic Wastes by Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Environmental Entomology*. **47**(6): 1609–1617.
- Manurung R, Supriatna A, Esyanti RE & Putra RE. 2016. Bioconversion of Rice Straw Waste by Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia Illucens* L.): Optimal Feed Rate for Biomass Production. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. **4**(4): 1036–1041.
- Mertenat A, Diener S & Zurbrugg C. 2019. Black Soldier Fly Biowaste Treatment – Assessment of Global Warming Potential. *Waste Management*. **84**: 173–181.
- Mohd-Noor SN, Wong CY, Lim JW, Mah-Hussin MIA, Uemura Y, Lam, MK, Ramli A, Bashir MJK & Tham L. 2017. Optimization of Self-Fermented Period of Waste Coconut Endosperm Destined to Feed Black Soldier Fly Larvae in Enhancing the Lipid and Protein Yields. *Renewable Energy*. **111**: 646–654.
- Nation, JL. 2016. *Insect Physiology and Biochemistry*. University of Florida, Gainesville, USA. Third Edit. Boca Raton, London, New York: CRC Press, Taylor and Francis Group.
- Nestel D, Nemny-Lavy E & Chang CL. 2004. Lipid and Protein Loads in Pupating Larvae and Emerging Adults as Affected by the Composition of Mediterranean Fruit Fly (*Ceratitis Capitata*) Meridic Larval Diets. *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*. **56**(3): 97–109.
- Nguyen TTX; Tomberlin JK & Vanlaerhoven S. 2015. “Ability of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae to Recycle Food Waste. *Environmental Entomology*. **44**(2): 406–410.
- Onsongo VO, Osuga IM, Gachui CK, Wachira AM, Miano DM, Tanga CM, Ekesi S, Nakimbugwe D & Fiaboe KKM. 2018. Insects for Income Generation through Animal Feed: Effect of Dietary Replacement of Soybean and Fish Meal with Black Soldier Fly Meal on Broiler Growth and Economic Performance. *Journal of Economic Entomology*. **111**(4): 1966–1973.
- Ooninx DGAB, van Broekhoven S, van Huis A & van Loon JJ. 2015. Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food by-Products. *PLoS ONE*. **10**(12): 1–20.
- Open Data Kota Bandung. 2018. *Data Produksi Sampah Menurut Jenisnya*. [online].
<http://data.bandung.go.id/service/index.php/datapreview/load/43a464df-bd5a-4052-a37f-91156fcc3159>. [2 Desember 2018].
- Palma L, Fernandez-Bayo J, Niemier D, Pitesky M & VanderGheynst JS. 2019. Managing High Fiber Food Waste for the Cultivation of Black Soldier Fly Larvae. *Npj Science of Food*. **3**(1):15.
- Parodi A, de Boer IJM, Gerrits WJJ, van Loon JJA, Heetkamp MJW, Schelt, Bolhuis JE & van Zanten HHE. 2020. Bioconversion Efficiencies, Greenhouse Gas and Ammonia Emissions during Black Soldier Fly Rearing – A Mass Balance Approach. *Journal of Cleaner Production*. **271**: 122488.
- Permana, AD, N. EJ & Putra RE. 2018. Growth of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) Larvae Fed on Spent Coffee Ground. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 187(1).
- Prasetyowati, Pratiwi R, & Tris OF. 2010. Pengambilan Minyak Biji Alpukat (*Persea Americana* Mill) Dengan Metode Ekstraksi. *Jurnal Teknik Kimia*. **17**(1): 16–24.
- Putra RE, Margareta A & Kinasih I. 2020. The Digestibility of Banana Peel and Testa Coconut and Its Effects on the Growth and Mortality of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia Illucens*) at Constant Feeding Rates. *Biosfer: Jurnal Tadris Biologi*. **11**(1): 66–77.
- Rusad RE, Santosa S & Hasyim Z. 2016. Pemanfaatan Limbah Sayur Kubis (*Brassica Oleracea*) Dan Buah Pepaya (*Carica Papaya*) Sebagai Pakan Cacing Tanah *Lumbricus rubellus*. *Jurnal Biologi*. **1**: 8–15.
- Scriber JM & Slansky Jr. F. 1981. The Nutritional Ecology of Immature Insects.” *Annual Review of Entomology*. **26**(1): 183–211.

- Sprangers T, Ottoboni M, Klootwijk C, Ovy A, Deboosere S, De Meulenaer B; Michiels J, Eeckhout M, De Clercq P & De Smet S. 2017. Nutritional Composition of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) Prepupae Reared on Different Organic Waste Substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. **97**: 2594–2600.
- St. Hilaire S, Sheppard C, Tomberlin JK, Irving S, McGuire MA, Mosley EE, Hardy RW & Sealey W. 2007. Fly Prepupae as a Feedstuff for Rainbow Trout, *Oncorhynchus Mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society*. **38**(1): 59–67.
- Suryaningrum, TD. 2008. Ikan Patin: Peluang Ekspor, Penanganan Pascapanen, Dan Diversifikasi Produk Olahan. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*. **3**(1): 16.
- Tanga CM, Waweru JW, Tola YH, Onyoni AA, Khamis FM, Ekesi S & Paredes JC. 2021. Organic Waste Substrates Induce Important Shifts in Gut Microbiota of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens* L.): Coexistence of Conserved, Variable, and Potential Pathogenic Microbes. *Frontiers in Microbiology*. **12**: 1–11.
- Tomberlin JK, Sheppard DC & Joyce JA. 2002. Selected Life-History Traits of Black Soldier Flies (Diptera: Stratiomyidae) Reared on Three Artificial Diets. *Annals of the Entomological Society of America*. **95**(3): 379–386.
- Tschirner M & Simon A. 2015. “Influence of Different Growing Substrates and Processing on the Nutrient Composition of Black Soldier Fly Larvae Destined for Animal Feed.” *Journal of Insects as Food and Feed*. **1**(4): 249–259.
- USDA: National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release. 2018. *Basic Report: 11109, Cabbage, raw*. [online] <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/11109?fgcd=&manu=&format=&count=&max=25&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=11109&ds=&qt=&qp=&qa=&qn=&q=&ing=> [2 Desember 2018].
- Wang YS & Shelomi M. 2017. “Review of Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) as Animal Feed and Human Food.” *Foods*. **6**(10): 91.
- Yu G, Cheng P, Chen Y, Li Y, Yang Z, Chen Y & Tomberlin JK. 2011. Inoculating Poultry Manure with Companion Bacteria Influences Growth and Development of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Environmental Entomology*. **40**(1): 30–35.
- Zhou F, Tomberlin JK, Zheng L, Yu Z & Zhang J. 2013. Developmental and Waste Reduction Plasticity of Three Black Soldier Fly Strains (Diptera: Stratiomyidae) Raised on Different Livestock Manures. *Journal of Medical Entomology*. **50**(6): 1224–1230.