

**PERTUMBUHAN LARVA LALAT TENTARA HITAM (*Hermetia illucens*) DENGAN PEMBERIAN PAKAN SUSU KEDALUWARSA DAN ALPUKAT****GROWTH OF BLACK SOLDIER (*Hermetia illucens*) LARVAE FED WITH EXPIRED POWDER MILK AND ROTTEN AVOCADO**Intan J Purba<sup>1</sup>, Ida Kinasih<sup>2</sup>, Ramadhani E Putra<sup>1</sup>\*

Diterima : 13 Desember 2020

Disetujui : 02 Februari 2021

**Afiliasi Penulis:**<sup>1</sup>) Institut Teknologi Bandung, Indonesia<sup>2</sup>) Universitas Islam Sunan Gunung Djati Bandung, Indonesia**Email korespondensi:**

\*ramadhani@sith.itb.ac.id

**ABSTRAK**

Larva lalat tentara hitam (LLTH) (*Hermetia illucens*) dapat mengonsumsi berbagai limbah organik untuk menghasilkan biomassa yang kaya akan kandungan protein dan lemak. Tujuan dari penelitian ini adalah menguji dari aplikasi LLTH pada produk pangan olahan yang sudah kedaluwarsa, hal yang relatif belum banyak diteliti di Indonesia terutama terkait dengan pertumbuhan dan perkembangan dari LLTH. Produk yang diujikan adalah susu bubuk instan dengan pakan ayam komersial sebagai kontrol dan alpukat sebagai pembanding produk yang umum digunakan sebagai pakan LLTH. Pada penelitian ini, 200 ekor larva berusia 7 hari menjadi sampel uji pada tiga kelompok tersebut. Pakan diberikan setiap 3 hari (200 mg/larva/hari) hingga 50% dari larva telah bermetamorfosis menjadi prepupa. Pengambilan data terkait berat tubuh dan tingkat kematian dilakukan bersamaan dengan waktu penggantian pakan. Saat prepupa bermetamorfosis menjadi pupa, setiap individu ditempatkan pada botol vial terpisah untuk proses identifikasi jenis kelamin dan masa hidup. Data pada kelompok susu kedaluwarsa dan kontrol menunjukkan rata-rata berat akhir larva lebih tinggi (0,11 gram berbanding 0,12 gram), proporsi lalat dewasa yang lebih banyak betina (♂:♀, 90:94 dan 90:98), waktu pertumbuhan larva hingga pupa lebih singkat (keduanya memiliki waktu yang sama yaitu 34 hari), dan total masa hidup lalat lebih pendek (57,3 hari berbanding 54,8 hari) lebih baik dibandingkan kelompok alpukat. Sementara itu, kelulushidupan larva tertinggi tercatat pada kelompok kontrol diikuti dengan kelompok yang mendapatkan pakan alpukat (98,5%) dan susu kedaluwarsa (96,5%). Berdasarkan hasil ini dapat disimpulkan bahwa susu kedaluwarsa dapat digunakan sebagai pengganti pakan ayam dalam pengembangan sistem produksi larva BSF yang lebih berkesinambungan.

Kata kunci: *Hermetia illucens*, kelulushidupan, limbah makanan olahan, pertumbuhan, rasio seks

**ABSTRACT**

Black soldier fly larvae (BSFL, *Hermetia illucens*) known for its ability to consume varied organic wastes to produce a protein and fat rich biomass. In this study, BSFL was fed with expired processed food, a study which hardly found in Indonesia. Product applied in this study was expired milk powder which compared to commercial chicken feed as control and rotten avocado as an example of organic waste applied as BSFL feed material. About 200 individuals of 7 days old BSFL used as study object for each feed material. Larva was fed every 3 days (rate 200 mg/larva/day) until 50% of larvae metamorphosed to prepupae. Resulting pupae kept inside individual plastic for adult sex identification and determination of development time from eggs to adult. Expired milk powder and control group had higher final larvae weight (0.11 and 0.12 gr, respectively), more adult female (♂:♀, 90:94 and 90:98, respectively), shorter time needed to reach pupae (in 34 days for both), and shorter life expectation (57,3 and 54,8 days, respectively). On the other hand, larvae of avocado group produced smaller larvae (average final weight: 0,07 gram), produced more adult males (♂:♀, 102:85), longer time needed to reach pupae (38 days), and longer life (59,7 days). Control group had better survival rate (100%) followed by Avocado group (98,5%) and expired milk group (96,5%). Based on this result, it can be concluded that expired milk can be used as substitution of commercial chicken feed for more sustainable BSFL production system.

Keywords: *Hermetia illucens*, expired processed food, growth, sex ratio, survivalship

**Cara sitasi:**

Purba IJ, I Kinasih, RE Putra. 2021. Pertumbuhan larva lalat tentara hitam (*Hermetia illucens*) dengan pemberian pakan susu kedaluwarsa dan alpukat. *Journal of Tropical Biology* 9 (1): 88-95.

## PENDAHULUAN

Peningkatan populasi manusia berpotensi untuk meningkatkan permintaan akan produk olahan, terutama pada negara berkembang. Produk olahan memiliki masa penggunaan yang terbatas terkait dengan kualitas dari produk dan keselamatan konsumen dengan beberapa produk memiliki umur simpan yang relatif singkat seperti produk olahan susu.

Susu merupakan salah satu media terbaik untuk pertumbuhan bagi bakteri dan jamur patogen bagi manusia, sehingga produk olahan susu harus dimusnahkan segera setelah mencapai waktu kedaluwarsa. Proses yang paling umum digunakan dalam memusnahkan produk susu adalah dengan pembakaran dengan solar atau bensin [1]. Namun, cara tersebut dapat menimbulkan dampak buruk terhadap lingkungan produksi senyawa karsinogenik dan karbon hitam sebagai hasil dari proses pembakaran. Oleh karena itu, diperlukan cara alternatif dalam penguraian limbah yang lebih ramah lingkungan.

Pendekatan lain yang paling umum, tanpa melakukan pembakaran, untuk mengatasi limbah organik adalah *sanitary landfill* dan *composting*. Akan tetapi kedua metoda ini tidak dapat langsung diaplikasikan pada limbah berupa produk dari susu seperti susu bubuk, keju, dan yoghurt yang memiliki metoda khusus untuk penanganannya seharusnya menjadi tanggung jawab dari produsen [2]. Selain itu, produk-produk ini mengandung kandungan organik tinggi yang berpotensi menimbulkan kerusakan lingkungan bila dibuang langsung ke alam. Terdapat pendekatan untuk menggunakan sumber organik ini sebagai pupuk. Walaupun terdapat pendekatan untuk menggunakan limbah ini sebagai bahan baku bagi jamur untuk produksi makanan ternak dan etanol menggunakan jamur [3] atau sebagai bahan baku pupuk [4] yang memiliki kelemahan dalam hal kemudahan dalam aplikasi. Limbah susu ini juga dapat diaplikasikan sebagai pakan ternak walaupun memiliki keterbatasan karena tidak seluruh ternak dapat mengkonsumsi ini. Sampai saat ini metoda ini relatif kurang diaplikasikan karena membutuhkan pengetahuan khusus dan kurang memberikan dampak ekonomi secara langsung. Saat ini sedang dikembangkan metoda lain untuk proses pengolahan limbah organik yaitu dengan pemanfaatan organisme saprofit. Aplikasi organisme ini memiliki keuntungan dalam hal kemudahan dalam aplikasi walaupun pengetahuan sains terkait dengan aplikasi organisme ini masih terbatas pada limbah dari produk segar atau by product proses produksi. Pendekatan ini memiliki keuntungan lain, karena dapat memberikan suplai protein,

komponen utama dari arthropoda yang merupakan kelompok terbesar dari meso- dan makro- fauna saprofit, yang berkesinambungan [5].

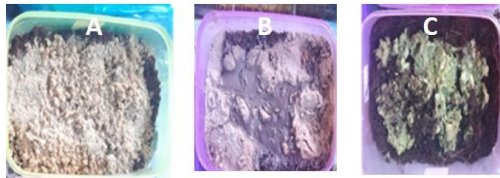
Lalat tentara hitam atau *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) diketahui dapat digunakan untuk mengolah berbagai macam limbah organik [6, 7, 8] melalui proses konsumsi oleh larva. Salah satu hasil utama dari proses ini adalah biomasa tubuh yang kaya akan protein dan lemak [9, 10] yang memiliki potensi nilai ekonomi sebagai bahan baku pakan pada industri akuakultur [11, 12], unggas [13], dan *cuniculture* (peternakan kelinci) [14], sebagai sumber protein antibakteria [15], dan industri kosmetik [16]. Penelitian terhadap pemanfaatan serangga ini sebagai agen pengolah limbah organik segar telah marak dilakukan di Indonesia [17, 18, 19, 20] akan tetapi pemanfaatannya sebagai agen pengolah limbah produk olahan relatif jarang ditemukan. Berdasarkan hal ini, maka dilakukan pengamatan terhadap dampak dari pemberian produk olahan, berupa susu kedaluwarsa, terhadap pertumbuhan larva lalat tentara hitam. Efek pertumbuhan ini selanjutnya dibandingkan dengan pakan ayam komersial sebagai kontrol dan alpukat yang merepresentasikan limbah segar yang memiliki komposisi nutrisi relatif lebih lengkap.

## METODE PENELITIAN

**Hewan uji.** Hewan uji berupa larva lalat tentara hitam berumur 7 hari yang berasal dari telur lalat tentara hitam hasil budidaya peternak lalat tentara hitam komersial di kota Labuhan Batu. Telur ditetaskan pada media pakan ayam komersial dengan kandungan air 80% (w/w) dan dipelihara selama 7 hari.

**Pakan larva lalat tentara hitam.** Sumber pakan yang digunakan pada penelitian ini adalah (1) susu kedaluwarsa (> 2 bulan dari waktu kedaluwarsa) yang berasal dari klinik di Kota Pematangsiantar dan (2) buah alpukat yang berasal dari penjual buah di Pematangsiantar.

**Prosedur penelitian.** Larva dibagi menjadi 3 kelompok yaitu (1) kelompok kontrol yang mendapatkan pakan berupa campuran *cocopeat* (serpihan dari sabut kelapa yang umum digunakan sebagai media tanam dengan kemampuan untuk mengikat air), pakan ayam komersial, dan air. (2) pakan berupa *cocopeat*, susu afkir, dan air yang selanjutnya disebut sebagai kelompok susu, dan (3) pakan berupa campuran *cocopeat*, buah alpukat yang dihaluskan dengan menggunakan sendok, dan air (Gambar 1).



**Gambar 1.** Pakan yang diberikan pada larva lalat tentara hitam (A) campuran pakan berbasis pakan ayam, (B) campuran pakan berbasis susu kedaluwarsa, (C) campuran pakan berbasis alpukat busuk

Larva ditempatkan pada wadah pemeliharaan persegi (panjang 20 cm, lebar 14 cm, tinggi 10 cm) [21]. Wadah pemeliharaan ditutup dengan menggunakan kasa, dan ditempatkan di lingkungan yang teduh [22]. Pada setiap wadah pemeliharaan diberikan 200 ekor larva lalat tentara hitam berumur 7 hari. Pakan diberikan secara *ad libitum* setiap 3 hari bersamaan dengan waktu pengambilan data hingga 50% dari larva berubah menjadi prepupa. Setiap kelompok diulang sebanyak 3 kali.

**Pengumpulan data.** Pengambilan data dan pergantian pakan dilakukan setiap 3 hari sekali. Sisa pakan dan lava lalat tentara hitam dari masing-masing perlakuan ditimbang berat basahnya menggunakan timbangan. Pupa ditempatkan, secara individual, pada botol vial yang telah diberi lubang untuk sirkulasi udara. Setelah berubah menjadi pupa akan diukur beratnya, dan akan dipindahkan ke dalam botol vial yang sudah diberi sirkulasi udara. Jenis kelamin dan waktu yang dibutuhkan untuk menjadi dewasa dari pupa dicatat bagi setiap kelompok perlakuan.

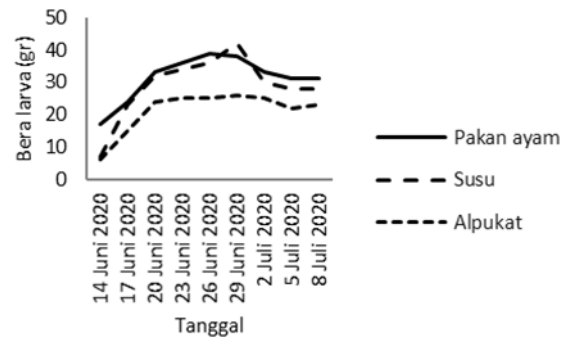
**Analisa data.** Data kuantitatif dianalisis menggunakan aplikasi IBM *Statistical Package for the Social Science* (IBM SPSS) 24. Sebelum dilakukan uji statistik, dilakukan pengujian terhadap kenormalan data. Perubahan berat keseluruhan larva dianalisis menggunakan uji Kruskal-wallis, jumlah larva yang hidup di akhir pemeliharaan dan komposisi jenis kelamin dianalisis dengan uji Chi Square, lama waktu larva menuju pupa dan umur lalat tentara hitam dianalisis menggunakan uji Anova. Tingkat kepercayaan yang dipakai untuk ketiga metode uji tersebut adalah  $P < 0,05$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pertumbuhan larva lalat tentara hitam.

Berat badan larva yang mendapatkan pakan berupa alpukat busuk secara signifikan lebih rendah dan memiliki pola berbeda bila

dibandingkan kelompok lainnya pada penelitian ini (Kruskall-wallis  $P < 0,05$ ) (Gambar 2).



**Gambar 2.** Perubahan berat keseluruhan larva

Rendahnya berat dari larva yang mengkonsumsi alpukat busuk kemungkinan berkaitan dengan kandungan air dari pakan larva (yang dapat mencapai 55,3% dari total berat [23], dimana struktur buah alpukat yang lunak menyebabkan kondisi substrat menjadi basah. Kondisi pakan yang terlalu banyak mengandung air, lunak dan juga keberadaan bakteri pembusuk akan menghambat aktivitas larva dalam konsumsi pakan [24]. Kandungan air yang terlalu banyak menyebabkan kondisi anaerob pada pakan yang berpotensi menghasilkan  $\text{NH}_3$  (amonia) dan  $\text{CH}_4$  (metana) yang bisa menghambat proses konsumsi pakan dan laju pertumbuhan. Kondisi fisik pakan juga menunjukkan perubahan struktur menjadi lebih liat yang menunjukkan proses dekomposisi yang relatif lebih lama (Gambar 3). Hal lain yang dapat memberikan pengaruh pada larva adalah kandungan lemak yang tinggi (dapat mencapai 14,4% dari total berat [23]) yang telah dilaporkan memberikan dampak negatif pada pertumbuhan larva lalat tentara hitam [25, 26].

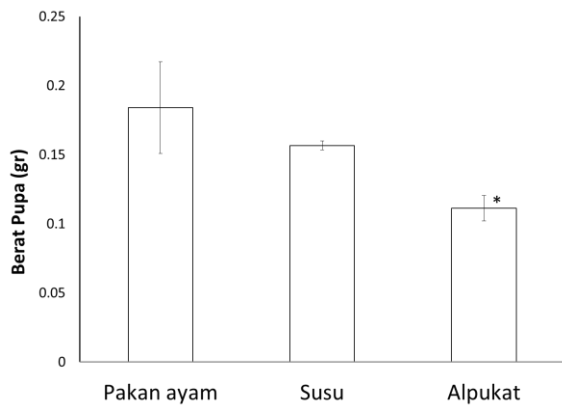


**Gambar 3.** Perubahan pada pakan setelah proses konsumsi (A) pakan ayam, (B) campuran cocopeat dan susu kedaluwarsa, dan (C) campuran cocopeat dengan alpukat busuk).

Terdapat kemiripan pada pola pertumbuhan untuk kelompok larva yang mendapatkan pakan berupa pakan ayam dan campuran cocopeat – susu kedaluwarsa. Hal ini kemungkinan disebabkan kemiripan pada kandungan nutrisi yang dapat diperoleh oleh larva sebab pola pertumbuhan larva lalat tentara hitam sangat dipengaruhi oleh komposisi dari nutrisi pada pakan terutama makromolekul seperti karbohidrat, lemak, dan protein.

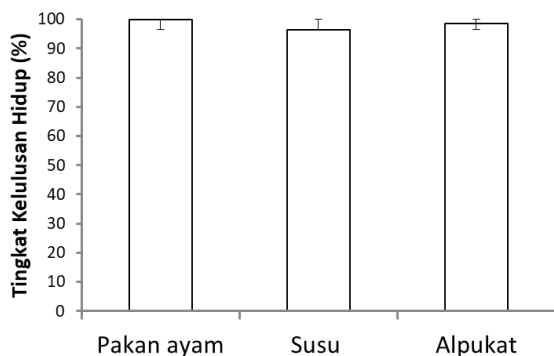
Walaupun produk susu yang digunakan memiliki kandungan protein jauh lebih rendah dibandingkan dengan pakan ayam (9% dibandingkan dengan 21%) namun kelebihan pada karbohidrat (7% dibandingkan 5%) dan keberadaan komponen lain seperti mineral dan vitamin kemungkinan mengkompensasi kekurangan ini.

Kemiripan kondisi pakan pada kelompok kontrol dan kelompok susu kedaluwarsa juga diperkuat dengan berat akhir pupa. Berat akhir pupa yang berasal dari media pemeliharaan pakan ayam sebagai kontrol memiliki berat akhir pupa paling tinggi, diikuti dengan larva dari media pemeliharaan susu kedaluwarsa dan berat signifikan terendah pada pupa yang berasal dari media pemeliharaan buah alpukat (One Way ANOVA,  $P = 0,004$ ) (Gambar 4).



**Gambar 4.** Berat akhir pupa lalat tentara hitam (*Hermetia illucens*). (\*) signifikan pada  $P < 0.05$ .

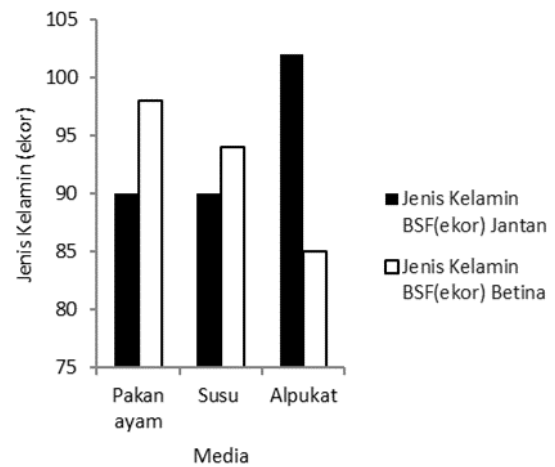
**Kelulusanhidupan (survival rate) larva lalat tentara hitam.** Tingkat kelulusan hidup larva lalat tentara hitam yang paling tinggi ditunjukkan oleh larva dari kelompok kontrol (100%) diikuti kelompok buah alpukat (98,5%), dan kelompok susu kedaluwarsa (96,5%) namun tidak terdapat perbedaan signifikan antar kelompok (chi square dengan  $\chi^2 > 0,05$ ) (Gambar 5).



**Gambar 5.** Tingkat kelulushidupan larva

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tingkat kelulushidupan dari larva diantaranya adalah suhu lingkungan [27] dan kelembaban relatif dari substrat [28]. Bila mengacu pada hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa kondisi substrat dan suhu lingkungan pada penelitian berada pada titik optimal.

**Rasio jenis kelamin.** Penelitian ini menunjukkan bahwa baik kelompok kontrol maupun kelompok susu kedaluwarsa menghasilkan lebih banyak serangga betina dewasa sedangkan kelompok alpukat lebih banyak menghasilkan serangga jantan dewasa (Gambar 6).

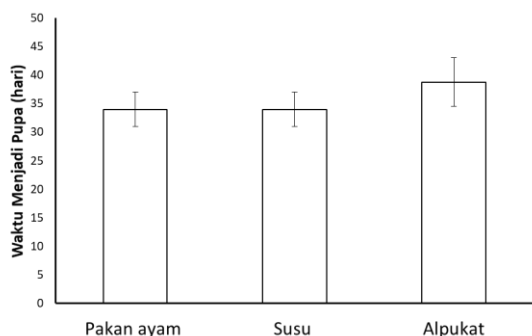


**Gambar 6.** Komposisi jenis kelamin pada kelompok perlakuan

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kelompok yang mendapatkan pakan berupa alpukat memiliki jumlah jantan lebih tinggi yang menyerupai rasio seks pada kelompok larva yang mendapatkan pakan dengan kandungan karbohidrat lebih tinggi dibandingkan protein [29, 30]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa rasio jenis kelamin dari lalat tentara hitam dewasa dapat dipengaruhi oleh kondisi fisik dari pakan [28, 31], tingkat keasaman dari pakan [32], sistem pemberian makanan [33], dan proporsi dari protein dan karbohidrat [34] yang terkait dengan tingkat sensitifitas dari jenis kelamin terhadap kekurangan salah satu dari makromolekul ini [35]. Efek dari kandungan nutrisi pada pakan dapat menentukan jenis kelamin dari serangga dewasa yang dapat dikaitkan dengan fungsi dari protein sebagai bahan baku utama bagi produksi telur pada betina dan memberikan masa hidup lebih lama yang berperan besar bagi jantan [36]. Pengetahuan ini sendiri akan memberikan masukan besar pada model budidaya lalat tentara hitam yang sangat tergantung pada

produksi telur untuk keberlanjutannya dan terdapat hubungan yang kuat antara rasio seks dengan produktivitas produksi telur [37].

**Waktu pertumbuhan.** Larva yang mendapatkan pakan ayam dan susu kedaluwarsa sebagai makanan memiliki waktu pertumbuhan yang sama yaitu 34 hari, sedangkan pemberian makanan dalam bentuk alpukat busuk menghasilkan waktu pertumbuhan larva paling lama yaitu selama  $\pm 39$  hari (Gambar 7). Walaupun terdapat selisih yang besar dalam waktu pertumbuhan, pengujian statistik tidak menunjukkan perbedaan data yang signifikan (One Way ANOVA,  $P = 0,2921$ ).

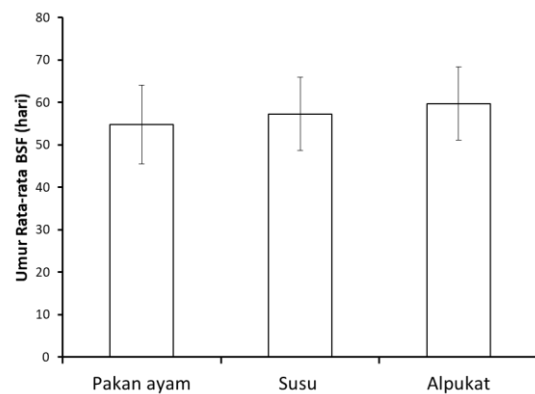


**Gambar 7.** Pengaruh pakan terhadap waktu pertumbuhan larva

Suhu optimal larva lalat tentara hitam untuk mengkonsumsi makanan ialah sekitar  $95^{\circ}\text{F}$  ( $35^{\circ}\text{C}$ ), dengan suhu minimum sekitar  $32^{\circ}\text{F}$  dan suhu maksimum sekitar  $113^{\circ}\text{F}$  ( $45^{\circ}\text{C}$ ). Rentang suhu paling baik untuk lalat tentara hitam berubah dari larva ke pupa pada suhu  $77-86^{\circ}\text{F}$  ( $25-30^{\circ}\text{C}$ ) [38]. Pada penelitian kali ini, larva dipelihara di daerah dengan suhu rata-rata  $27^{\circ}\text{C}$  dengan kelembapan rata-rata 86%, dimana suhu ini sangat optimal untuk proses perkembangan lalat tentara hitam.

Larva lalat tentara hitam merupakan serangga yang memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi, yang mampu memperpanjang siklus hidupnya, sehingga waktu pertumbuhan larva yang lebih dari 14-16 hari yaitu menjadi 34-39 hari pada penelitian ini disebabkan karena adanya penyesuaian larva terhadap jenis pakan yang berbeda-beda dalam kondisi suhu yang optimal [28].

**Waktu yang dibutuhkan hingga menjadi dewasa.** Penelitian ini tidak menunjukkan perbedaan signifikan pada waktu yang dibutuhkan untuk mencapai dewasa (One Way ANOVA,  $P = 0,1636$ ) walaupun kelompok kontrol memiliki umur lebih singkat ( $\pm 55$  hari) dibandingkan kelompok susu kedaluwarsa ( $\pm 57$  hari) dan alpukat ( $\pm 60$  hari) (Gambar 8).



**Gambar 8.** Pengaruh pakan terhadap waktu yang dibutuhkan hingga mencapai tahap dewasa

Selisih waktu yang sedikit menjadikan perbedaan yang tidak signifikan untuk umur lalat tentara hitam dari ketiga media pemeliharaan, sehingga dapat diasumsikan media pemeliharaan pakan ayam komersial, susu kedaluwarsa dan buah alpukat menyediakan nutrisi yang cukup untuk mendukung pertumbuhan lalat tentara hitam hingga menjadi dewasa.

## KESIMPULAN

Susu kedaluwarsa dapat digunakan sebagai substitusi pakan ayam komersial pada proses pemeliharaan larva lalat tentara hitam karena kesamaan efek pada pertumbuhan dan perkembangan. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada kandungan nutrisi dari pakan dan efek dari lama penyimpanan, kandungan nutrient pada biomasa larva yang dihasilkan (sebagai dasar untuk pengembangan produk pakan ternak) dan dampak terhadap kemampuan reproduksi (tekait dengan keberlanjutan dari proses).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini sebagian dibiayai oleh hibah penelitian INSINAS 2020 Nomor 8/INS-1/PPK/E4/2020 yang diterima oleh penulis korespondensi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harjo S, Arifin AA, Anwar S (2014) Fortified compost with powder milk waste for vegetable organic farming. *Journal of Natural Resources and Environmental Management* 4(2): 103–110. doi:10.19081/jpsl.2014.4.2.103.
- [2] Dansted P (2016) Disposal of non-conforming dairy material or dairy product.

- <https://www.mpi.govt.nz/document-vault/999>. Accessed December 2020
- [3] Soufiani AM, Ferreira JA, Taherzadeh MJ, Lennartsson PR (2016) Value-added products from dairy waste using edible fungi. *Waste Management* 59: 518-525. doi: 10.1016/j.wasman.2016.11.017.
- [4] Eissa MA, Nasralla NN, Gomah NH, Osman DM, El-Derwy YM (2018) Evaluation of natural fertilizer extracted from expired dairy products as a soil amendment. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 18(3): 694-704. doi: 10.4067/S0718-95162018005002002
- [5] Tran G, Heuze V, Makkar HPS (2015) Insects in fish diets. *Animal Frontier* 5: 37-44. doi:10.2527/af.2015-0018
- [6] Čičková H, Newton GL, Lacy RC, Kozánek M (2015) The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Management* 35: 68-80. doi: 10.1016/j.wasman.2014.09.026
- [7] 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. doi: 10.1093/ee/nvy141.
- [8] Oonincx DGAB, van Huis A, van Loon JJA (2015) Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(2), 131-139. doi: 10.3920/JIFF2014.0023.
- [9] Wang YS, Shelomi M (2017) Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods* 6(10): 91. doi: 10.3390/foods6100091.
- [10] Zheng L, Li Q, Zhang J, Yu Z (2012) Double the biodiesel yield: Rearing black soldier fly larvae, *Hermetia illucens*, on solid residual fraction of restaurant waste after grease extraction for biodiesel production. *Renewable Energy* 41: 75-79. doi: 10.1016/j.renene.2011.10.004.
- [11] Cummins V, 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. doi: 10.1016/j.aquaculture.2017.02.022.
- [12] Standtlander T, Stamer A, Buser A, Wohlfahrt J, Leiber F, Sandrock C (2017) *Hermetia illucens* meal as fish meal replacement for rainbow trout on farm. *Journal of Insects as Food and Feed* 3: 165-175. doi: 10.3920/JIFF2016.0056.
- [13] 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: 1966-1973. doi: 0.1093/jee/toy118.
- [14] 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 excluder linseed in diet of growing rabbits and their effect on meat quality traits including detailed fatty acid composition. *Meat Science* 146: 50-58. doi: 10.1016/j.meatsci.2018.08.002.
- [15] Vogel H, Muller A, Heckel DG, Gutzeit H, Vilcinskis A (2018) Nutritional immunology: diversification and diet-dependent expression of antimicrobial peptide in the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Developmental & Comparative Immunology*. 78: 141-148. doi: 10.1016/j.dci.2017.09.008.
- [16] Verheyen GR, Ooms T, Vogels L, Vreysen S, Bovy A, van Miert S, Meersman F (2018) Insects as an alternative source for the production of fats for cosmetics. *Journal of Cosmetic Science* 69: 187-202.
- [17] Abduh MY, Nadia MH, Syaripudin, Manurung R, Putra RE (2018) Factors affecting the bioconversion of Philippine tung seed by black soldier fly larvae for the production of protein and oil-rich biomass. *Journal of Asia-Pacific Entomology* 21(3): 836-842. doi: 10.1016/j.aspen.2018.06.007.
- [18] 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. doi: 10.4308/hjb.25.2.79.
- [19] Manurung R, Supriatna A, ESYANTHI RR, 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.
- [20] 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. doi: 10.24042/biosfer.v11i1.6450.
- [21] Nakamura S, Ichiki RT, Shimoda M, Morioka S (2016) Small-scale rearing of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), in the laboratory: low cost and year-round rearing. *Applied Entomology and Zoology* 51: 161–166. doi: 10.1007/s13355-015-0376-1
- [22] Dortmans BMA, Diener S, Verstappen BM, Zurbrügg C (2017) Black soldier fly biowaste processing - a step-by-step guide Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland.
- [23] Abduh MY, Tejo F, Hidayat GMS, Joseph R, Putra RE, Manurung R, Permana AD, Mandasari MI (2020) Production of protein hydrolysate and biodiesel from black soldier fly larvae cultivated using rotten avocado and tofu residue. *London Journal of Research in Science: Natural and Formal* 20 (8): Compilation 1.0
- [24] 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): 181–193. doi: 10.15578/jpbkp.v12i2.469.
- [25] Nguyen TTX, Tomberlin JK, Vanlaerhoven S (2013) Influence of resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larval development. *Journal of Medical Entomology* 50: 898–906. doi: 10.1603/me12260.
- [26] Jucker C, Lupi D, Moore CD, Leonardi MG, Savoldelli S (2020) Nutrient recapture from insect farm waste: bioconversion with *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Sustainability* 12: 362. doi: 10.3390/su12010362.
- [27] Chia SY, Tanga CM, Khamis FM, Mohamed SA, Salifu D, Sevgan S, Fiaboe KKM, Niassy S, van Loon JJA, Dicke M, Ekesi S (2018) Threshold temperatures and thermal requirements of black soldier fly *Hermetia illucens*: Implications for mass production. *PLoS ONE* 13(11): 1–26. doi: 10.1371/journal.pone.0206097.
- [28] Holmes LA, Vanlaerhoven SL, Tomberlin JK (2012) Relative humidity effects on the life history of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental Entomology* 41(4): 971–978. doi: 10.1603/EN12054.
- [29] 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. doi: 10.1093/ee/nvx154.
- [30] Kinasih I, Suryani Y, Paujiah E, Ulfa RA, Afiyati S, Adawiyah YR, Putra RE (2020) Performance of black soldier fly, *Hermetia illucens*, larvae during valorization of organic wastes with changing quality. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 593: 01240. doi: 10.1088/1755-1315/593/1/012040.
- [31] Gobbi P, Martínez-Sánchez A, Rojo S (2013) The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *European Journal of Entomology* 110(3): 461–468. doi: 10.14411/eje.2013.061.
- [32] Ma J, Lei Y, Rehman KU, Yu Z, Zhang J, Li W, Li Q, Tomberlin JK, 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. doi: 10.1093/ee/nvx186.
- [33] Meneguz M, Schiavone A, Gai F, Dama A, Lussiana C, Renna M, Gasco L (2018) Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae: Rearing substrate effects on performance and nutritional composition of black soldier fly. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 98(15): 5776–5784. doi: 10.1002/jsfa.9127.
- [34] 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(2). doi: 10.3390/insects8020056.
- [35] Shingleton AW, Masandika JR, Thorsen LS, Zhu Y, Mirth CK (2017) The sex-specific effects of diet quality versus quantity on morphology in *Drosophila melanogaster*. *Royal Society Open Science* 4(9): 170375. doi: 10.1098/rsos.170375.
- [36] Harrison SJ, Raubenheimer D, Simpson SJ, Godin JGJ, Bertram SM (2014) Towards a synthesis of frameworks in nutritional ecology: interacting effects of protein, carbohydrate and phosphorus on field cricket fitness. *Proceeding of the Royal Society B: Biological Sciences* 281(1792): 20140539. doi: 10.1098/rspb.2014.0539

- [37] Hoc B, Noël G, Carpentier J, Francis F, Megido RC (2019) Optimization of black soldier fly (*Hermetia illucens*) artificial reproduction. PLoS ONE 14(4): 1–13. doi: 10.1371/journal.pone.0216160.
- [38] Zhang J, Huang L, He J, Tomberlin JK, Li J, Lei C, Sun M, Liu Z, Yu Z (2010) An artificial light source influences mating and oviposition of black soldier flies, *Hermetia illucens*. Journal of Insect Science 10: 1–7.