



Biologi ngengat *Galleria mellonella* (Linn.) (Lepidoptera: Pyralidae) pada beberapa jenis pakan buatan

Biology of greater wax moth *Galleria mellonella* (Linn.) (Lepidoptera: Pyralidae) on several types of artificial diet

Nadzirum Mubin*, Mohammad Riza Krisnadi, Teguh Santoso,
Fitrianiingrum Kurniawati

Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University
Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

(diterima Juni 2022, disetujui November 2022)

ABSTRAK

Ngengat lilin (*Galleria mellonella* (Linnaeus)) merupakan salah satu hama penting pada peternakan lebah madu di Asia. Selain sebagai hama, *G. mellonella* ternyata juga digunakan sebagai serangga uji di beberapa bidang usaha. Kebutuhan populasi *G. mellonella* mendorong beberapa bidang usaha untuk membudidayakannya secara praktis dan ekonomis. Penelitian ini bertujuan mengetahui dan menguji komposisi bahan makanan sebagai pakan buatan yang dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan *G. mellonella*. Pengujian terdiri atas empat formula modifikasi pakan yang berbeda, yaitu P1 (tepung jagung, dedak gandum, gliserol, dan ragi), P2 (tepung beras, tepung terigu, dedak gandum, gliserol, dan ragi), P3 (tepung terigu, dedak gandum, gliserol, dan ragi), dan P4 (beras merah, gliserol, dan ragi). Kriteria pengamatan yang dilakukan, yaitu siklus hidup, tingkat mortalitas, fekunditas, dan fertilitas telur ngengat *G. mellonella*. Berdasarkan hasil penelitian, perkembangan siklus hidup *G. mellonella* terpendek pada perlakuan P3 ($71,5 \pm 5,2$ hari), sedangkan perlakuan P4 terpanjang ($84,2 \pm 8,3$ hari). Tingkat mortalitas tertinggi pada tipe pakan P3 sebesar 13,12%, sedangkan terendah terjadi pada perlakuan P4 sebesar 4,44%. Berdasarkan fekunditas imago betina, perlakuan P4 memiliki tingkat fekunditas tertinggi, yaitu sebesar 527,7 telur/betina, sedangkan perlakuan P1 merupakan yang terendah (169,6 telur/betina). Perlakuan P4 memberikan respons terbaik pada beberapa aspek biologi ngengat *G. mellonella*, seperti ukuran tubuh yang lebih besar, mortalitas yang lebih rendah, dan tingkat fekunditas yang tinggi.

Kata kunci: fekunditas, fertilitas, siklus hidup

ABSTRACT

The greater wax moth (*Galleria mellonella* (Linnaeus)) is one of Asia's most essential pests in honey beekeeping. Apart from being a pest, *G. mellonella* was also used as a test insect in several business fields. The needs of the population of *G. mellonella* encourage several areas of the business to cultivate it practically and economically. This study aimed to determine and examine the composition of food ingredients as an artificial diet that can affect the growth and development of *G. mellonella*. The test consisted of four different feed-modified formulas, namely P1 (corn flour, wheat, glycerol, and yeast), P2 (rice flour, wheat flour, wheat bran, glycerol, and yeast), P3 (wheat flour, wheat, glycerol, and yeast), and P4 (brown rice, glycerol, and yeast). The observation criteria were life cycle, mortality rate, fecundity, and egg fertility of the *G. mellonella* moth. Based on the study's results, the life cycle development of *G. mellonella* was the shortest in the P3 treatment (71.5 ± 5.2 days) and the longest P4 treatment (84.2 ± 8.3 days). The highest mortality rate was in the P3 feed type at 13.12%, while the lowest occurred in the P4 treatment at 4.44%. Based on the fecundity

*Penulis korespondensi: Nadzirum Mubin. Departemen Proteksi Tanaman, Fakultas Pertanian, IPB University,
Jalan Kamper, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia, Tel: 0251-8629364, Email: mubin.nadzirum@apps.ipb.ac.id

of female imago, treatment P4 had the highest fecundity level of 527.7 eggs/female, while treatment P1 was the lowest (169.6 eggs/female). P4 treatment responded best to several biological aspects of the *G. mellonella* moth, such as larger body size, lower mortality, and high fecundity rates.

Key words: fecundity, fertility, life cycle

PENDAHULUAN

Ngengat *Galleria mellonella* (Linnaeus) (*greater wax moth*) (Lepidoptera: Noctuidae) merupakan salah satu serangga yang berpotensi menjadi hama penting pada peternakan lebah madu di Asia tropis maupun sub-tropis. Hama ini telah dilaporkan menyerang sarang lebah *Apis mellifera* Linnaeus (Bhatnagar et al. 2020), *Apis cerana* Fabricius (Negi et al. 2019), dan *Apis dorsata* Fabricius (Raghunandan & Basavarajappa 2014). Kerugian akibat serangan hama ini mencapai 60–70% dengan rusaknya sarang madu, jumlah koloni lebah berkurang dan lebah madu akan meninggalkan sarangnya (Ambaw et al. 2020) (Hanumanthaswamy & Rajagopal 2017).

Ngengat *G. mellonella* selain berperan sebagai hama pada peternakan lebah juga telah dimanfaatkan sebagai serangga uji maupun sebagai inang alternatif pada beberapa bidang. Telur *G. mellonella* digunakan sebagai inang alternatif untuk mempelajari pengaruh suhu penyimpanan terhadap kelangsungan hidup dan tingkat parasitisme *Trichogramma evenescens* Westwood (Haque et al. 2021). Larva *G. mellonella* juga digunakan sebagai media perbanyakan nematoda entomopatogen (Metwally et al. 2012), serangga uji terhadap pengembangan biomedikal terhadap mikroba patogen, seperti bakteri *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, dan cendawan *Candida albicans* (Mikulak et al. 2018; Jorjao et al. 2018), serta dalam penelitian Rasyid et al. (2018) melaporkan bahwa larva ngengat lilin berpotensi sebagai agens *biodegradable* limbah plastik. Beberapa alasan penggunaan *G. mellonella* sebagai inang alternatif atau serangga uji, yaitu larva memiliki ukuran tubuh yang besar dan siklus hidup yang relatif singkat (Hosanami et al. 2017), dapat dipelihara pada rentan suhu 23–37 °C (Aghdam et al. 2015; Mowlds & Kavanagh 2008), termasuk dalam model non-vertebrata yang memiliki ukuran larva relatif besar sehingga mempermudah dalam proses percobaan dan tidak ada formalitas

etis untuk penggunaannya sebagai model uji, dapat digunakan sebagai analisis awal sebelum dilakukan uji lanjut terhadap mamalia (Mikulak et al. 2018), serta memiliki mekanisme imun bawaan dan molekul bioaktif (Tsai et al. 2016).

Kebutuhan akan populasi *G. mellonella* yang memadai sebagai serangga uji mendorong beberapa usaha untuk membudidayakannya secara praktis dan ekonomis. Akan tetapi, budi daya ngengat lilin belum banyak dilakukan menggunakan pakan alternatif yang murah dan mudah untuk diperoleh di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan menguji komposisi bahan makanan sebagai pakan buatan yang dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan ngengat lilin *G. mellonella*.

BAHAN DAN METODE

Pengambilan sampel serangga uji

Serangga uji yang digunakan adalah larva *G. mellonella* yang diperoleh dari peternakan lebah di Kyudan, Wringinputih, Magelang, Jawa Tengah. Pengambilan larva dilakukan dengan mencari stup lebah yang telah ditinggalkan atau memiliki kondisi koloni yang lemah. Ciri umum yang menunjukkan serangan *G. mellonella* adalah terdapat benang halus berwarna putih pada sisiran sarang lebah (Gambar 1). Sisiran sarang lebah yang terserang larva *G. mellonella* selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pemeliharaan.

Pemeliharaan dan perbanyakan serangga uji

Larva serangga uji yang diperoleh dari lapangan selanjutnya dipelihara di dalam wadah plastik (17 cm × 12 cm, × 3,5 cm). Larva diberi pakan berupa sisiran sarang lebah tua hingga menjadi imago. Imago yang terbentuk selanjutnya dipindahkan ke dalam toples plastik (22 cm × 11 cm) yang berisi lipatan kertas roti yang ditutup menggunakan kain kasa. Telur yang dihasilkan selanjutnya dipindahkan ke dalam wadah plastik

yang sudah disediakan pakan berupa sisiran lebah tua. Pemandangan telur dilakukan dengan memotong media tempat peletakan telur, selanjutnya telur disimpan pada rak pemeliharaan selama 10 hari hingga telur menetas. Larva yang menetas dipelihara selama 20 hari (instar 3) menggunakan pakan yang sama untuk selanjutnya digunakan sebagai serangga uji.

Persiapan bahan pakan buatan

Pakan dibuat berdasarkan pada komposisi menurut Tremblay (1978) yang selanjutnya dimodifikasi dengan bahan-bahan yang mudah ditemukan di sekitar lokasi penelitian. Modifikasi pakan pada penelitian ini, yaitu penggunaan bubur sereal susu (MPASI beras merah) sebagai bahan pengganti tepung jagung, tepung terigu,

tepung beras, dan bekatul gandum. Komposisi bahan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Setiap jenis pakan dibagi ke dalam 30 wadah plastik yang berisi larva *G. mellonella* berumur 20 hari. Sebanyak 4 perlakuan jenis pakan digunakan untuk melihat pengaruh pertumbuhan dan perkembangan ngelat lilin. Masing-masing jenis pakan yang diulang sebanyak 30 larva digunakan dalam pengujian (Gambar 2). Jumlah pakan yang diberikan pada setiap ulangan, yaitu 10 g.

Pengamatan biologi ngelat *G. mellonella*

Aspek biologi yang diamati meliputi siklus hidup, fekunditas, fertilitas telur, masa inkubasi telur, dan mortalitas *G. mellonella*.

Siklus hidup. Pengamatan siklus hidup *G. mellonella* diamati setiap hari hingga siklus hidup



Gambar 1. Stup sarang lebah (A–B) dan gejala serangan *Galleria mellonella* ditandai dengan benang-benang putih pada bekas sarang (C).

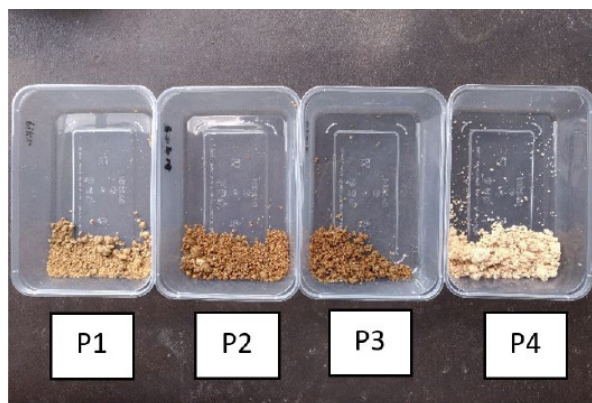
Figure 1. Honeycomb box (A–B) and symptoms of attack by *Galleria mellonella* with white silk in old nest (C).

Tabel 1. Komposisi bahan pakan yang digunakan dalam pengujian

Table 1. Composition of diet ingredients used in the test

Komposisi (Composition)	Jenis pakan (Diet type)			
	P1	P2	P3	P4
Tepung jagung (<i>Cornstarch</i>) (g)	324	0	0	0
Tepung beras (<i>Rice flour</i>) (g)	0	162	0	0
Tepung terigu (<i>Wheat flour</i>) (g)	0	162	324	0
MPASI beras merah (<i>Complementary feeding red rice</i>) (g)	0	0	0	540
Ragi roti (<i>Bread yeast</i>) (g)	60	60	60	60
Bekatul gandum (<i>Wheat bran</i>) (g)	216	216	216	0
Gliserol (<i>Glycerol</i>) (ml)	260	260	260	260

P1: jenis pakan 1; P2: jenis pakan 2; P3: jenis pakan 3; P4: jenis pakan 4. (P1: diet type 1; P2: diet type 2; P3: diet type 3; P4: diet type 4).



Gambar 2. Tampilan dan warna pakan buatan yang digunakan dalam pengujian.

Figure 2. Appearance and colour of artificial diet used in testing.

berakhir. Pengamatan siklus hidup *G. mellonella* dilakukan pada wadah plastik yang telah berisi pakan dan berisi satu sampel larva yang berumur 20 hari. Larva yang telah memasuki fase pupa dikeluarkan dari kokon untuk diukur bobot dan panjang pupanya. Imago jantan dan betina yang telah muncul, selanjutnya dimasukkan ke dalam wadah plastik untuk dipasangkan sesuai jenis perlakuan. Setiap imago yang dipasangkan pada gelas plastik diberi lipatan kertas roti yang berfungsi sebagai tempat peletakkan telur imago *G. mellonella*. Imago yang sudah mati, selanjutnya diambil dan diukur panjang tubuhnya dari kepala hingga ujung sayap. Selama proses pengamatan, pencatatan suhu dan kelembapan ruangan dilakukan mengikuti penelitian Setyowati (2008).

Fekunditas imago betina dan fertilitas telur.

Pengamatan fekunditas imago betina dan fertilitas telur dilakukan dengan mengambil telur yang dihasilkan oleh imago betina selama dipasangkan. Pengambilan telur dilakukan dengan menggunting lipatan kertas yang menjadi tempat peletakkan telur. Pengamatan fekunditas dan fertilitas telur dilakukan dengan bantuan mikroskop digital dan lensa mikro serta *hand counter*. Fekunditas diamati dengan cara menghitung jumlah telur yang dihasilkan selama imago betina dipasangkan, sedangkan fertilitas telur diamati dengan cara menghitung telur yang berhasil menetas. Masa inkubasi telur dihitung sejak telur pertama kali diletakkan hingga telur menetas. Fertilitas telur dihitung dengan menggunakan rumus menurut Erfan et al. (2019):

$$\text{Fertilitas telur} = \frac{\text{Jumlah telur yang menetas}}{\text{Jumlah telur yang diletakkan}} \times 100\%$$

Mortalitas serangga. Mortalitas serangga diamati dengan menghitung jumlah serangga yang mati selama siklus hidup serangga berlangsung. Mortalitas serangga dihitung menggunakan rumus menurut Nurhudiman et al. (2021):

$$P = \frac{X}{Y} \times 100\%, \text{ dengan}$$

P: persentase kematian; X: jumlah serangga yang mati; Y: jumlah serangga yang diuji.

Analisis data

Data siklus hidup, mortalitas, fekunditas serta fertilitas *G. mellonella* terhadap formula pakan buatan ditabulasikan menggunakan Microsoft Excel 2016 dan data dianalisis menggunakan program IBM SPSS 23 serta dilanjutkan dengan uji Tukey pada taraf 5%.

HASIL

Siklus hidup *G. mellonella*

Siklus hidup serangga yang diamati terdiri atas beberapa fase, yaitu telur, larva, prapupa, pupa, dan fase imago (Gambar 3). Perkembangan *G. mellonella* pada perlakuan P3 memiliki fase hidup lebih singkat dibandingkan dengan perlakuan lainnya, yaitu $71,5 \pm 8,3$ hari. Sementara itu, *G. mellonella* pada perlakuan P4 memiliki fase perkembangan terlama dari perlakuan lainnya, yaitu $84,2 \pm 8,3$ hari (Tabel 2).

Telur. Telur yang diletakkan pertama kali berwarna putih krem dan terdapat rambut halus yang menempel di sekitar kelompok telur (Gambar 3A). Telur pada umumnya berbentuk bulat atau oval dengan ukuran rata-rata panjang $0,37 \pm 0,06$ mm dan lebar $0,26 \pm 0,04$ mm. Masa inkubasi telur tersingkat terjadi pada perlakuan P1, yaitu $13,6 \pm 1,6$ hari, sedangkan masa inkubasi terlama terjadi pada perlakuan P4 $16,8 \pm 2,4$ hari ($P < 0,05$) (Tabel 2).

Larva. Larva *G. mellonella* yang baru keluar dari telur umumnya berwarna putih kekuningan

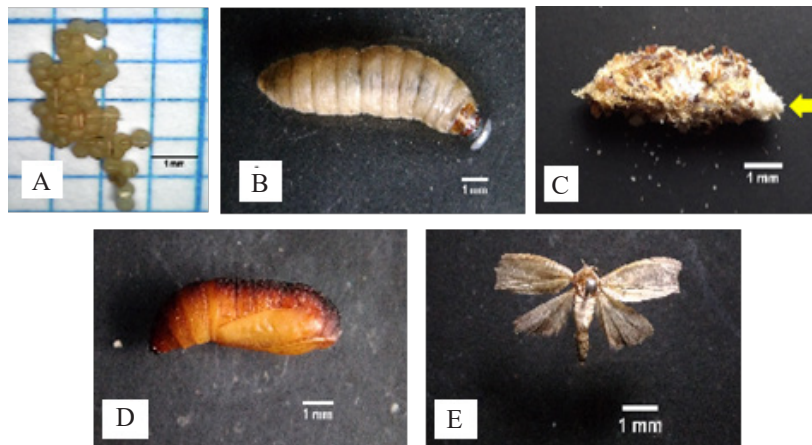
kemudian pada instar terakhir berwarna krem (Gambar 3B). Fase larva *G. mellonella* tersingkat terjadi pada perlakuan P3 ($39,9 \pm 4,8$ hari) yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan P2 ($40,2 \pm 3,9$ hari) dan P4 ($42,8 \pm 3,8$ hari) ($P < 0,05$). Sementara itu, perlakuan P1 memberikan hasil yang berbeda nyata dengan perlakuan P2, P3, dan P4 (Tabel 2).

Prapupa. Larva yang memasuki fase prapupa cenderung akan berdiam diri di dalam terowongan pakan yang diberikan untuk membentuk kokon. Kokon *G. mellonella* memiliki celah pada bagian kepala pupa yang berfungsi sebagai jalan keluarnya imago (Gambar 3C). Lama fase prapupa *G. mellonella* tersingkat terjadi pada perlakuan

pakan P2, yakni $2,5 \pm 1,1$ hari. Sementara itu, fase prapupa *G. mellonella* terlama terjadi pada pakan P1, yakni $3,6 \pm 1,6$ hari (Tabel 2).

Pupa. Perkembangan awal pupa *G. mellonella* berwarna cokelat muda dan berwarna cokelat tua ketika masa pupa akan berakhir (Gambar 3D). Berdasarkan Tabel 2, lama stadia pupa tersingkat ditemukan pada perlakuan P3 ($6,4 \pm 2,0$ hari), sedangkan stadia terlama, ditemukan pada perlakuan P2 ($9,2 \pm 3,4$ hari) ($P < 0,05$).

Warna dan bentuk pupa pada semua perlakuan terlihat sama, perbedaan yang ditemukan, yaitu pada ukuran dan berat pupa. Perlakuan P4 memberikan hasil rata-rata berat pupa dan ukuran pupa tertinggi, yaitu $0,11 \pm 0,03$ g dan $1,37 \pm$



Gambar 3. Tahap perkembangan *Galleria mellonella*. A: telur; B: larva; C: prapupa; D: pupa; E: imago. Tanda panah kuning merupakan lubang keluar imago.

Figure 3. Development stages of *Galleria melonella*. A: egg; B: larva; C: prepupa; D: pupa; E: adult. Yellow arrow as exit hole of imago.

Tabel 2. Lama siklus hidup *Galleria mellonella* pada berbagai perlakuan pakan

Table 2. Duration life cycle of *Galleria melonella* in various diet treatments

Jenis pakan (Diet type)	Lama stadia (Duration stages) (hari) (days)					Total rata-rata (Total average) (hari) (days)
	Telur (Egg)	Larva (Larva)	Prapupa (Prepupa)	Pupa (Pupa)	Imago (Adult)	
P1	$13,6 \pm 1,6$ a	$46,6 \pm 4,3$ b	$3,6 \pm 1,6$ a	$8,2 \pm 1,4$ ab	$11,1 \pm 6,9$ ab	83,2
P2	$15,1 \pm 2,54$ a	$40,2 \pm 3,9$ a	$2,5 \pm 1,1$ a	$9,2 \pm 3,4$ b	$7,3 \pm 5,8$ a	74,3
P3	$15,4 \pm 3,5$ a	$39,9 \pm 4,8$ a	$3,0 \pm 1,0$ a	$6,4 \pm 2,0$ a	$6,8 \pm 5,4$ a	71,5
P4	$16,8 \pm 2,4$ a	$42,8 \pm 3,8$ a	$3,0 \pm 1,2$ a	$8,7 \pm 1,9$ b	$12,8 \pm 8,6$ b	84,2

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama merupakan hasil yang tidak berbeda nyata (uji tukey $\alpha = 0,05$). P1: tepung jagung, ragi roti, bekatul gandum, gliserol; P2: tepung beras, tepung terigu, ragi roti, bekatul gandum, gliserol; P3: tepung terigu, ragi roti, bekatul gandum, gliserol; P4: MPASI beras merah, ragi roti, gliserol. (The numbers in the same row followed by the same letter were not significantly different (the Tukey test $\alpha = 0.05$). P1: cornstarch, bread yeast, wheat bran, glycerol; P2: rice flour, wheat flour, bread yeast, wheat bran, glycerol; P3: wheat flour, bread yeast, wheat bran, glycerol; P4: complementary feeding red rice, bread yeast, glycerol).

0,16 cm (Tabel 3). Sementara itu, perlakuan yang memberikan hasil rata-rata berat pupa dan ukuran terendah terjadi pada *G. mellonella* yang diberi pakan P1, yaitu $0,05 \pm 0,02$ g dan $1,02 \pm 0,15$ cm (Tabel 3). Hal tersebut disebabkan oleh jumlah pakan dikonsumsi larva *G. mellonella* sehingga memengaruhi ukuran dan berat pupa.

Imago. Imago keluar dari kokon melalui celah pada ujung kokon dan berwarna cokelat keabuan (Gambar 3E). Data yang diperoleh, menunjukkan bahwa stadia imago tersingkat terjadi pada perlakuan P3, yaitu $6,8 \pm 5,4$ hari. Sementara itu, stadia imago paling lama pada perlakuan P4, yaitu $12,8 \pm 8,6$ hari. Rata-rata bobot imago tertinggi diperoleh pada perlakuan P4 sebesar $1,26 \pm 0,14$ g, sedangkan rata-rata bobot imago terendah diperoleh pada perlakuan P1 sebesar $0,98 \pm 0,14$ g ($P < 0,05$) (Tabel 3).

Mortalitas ngengat *G. mellonella*

Berdasarkan data pada Tabel 4, tingkat mortalitas tertinggi selama satu siklus hidup

serangga terjadi pada perlakuan P3, yaitu sebesar 13,12%. Sementara itu, mortalitas terendah terjadi pada perlakuan P4, yaitu sebesar 4,44%. Mortalitas yang terjadi pada fase larva diakibatkan karena larva berhenti makan dan menjauhi pakan yang diberikan. Pakan yang diberikan cenderung kurang memberikan stimulan yang berfungsi sebagai atraktan bagi larva. Selain itu, perubahan bentuk fisik dari pakan buatan selama fase larva memengaruhi perilaku larva dalam memakan pakan. Hal tersebut karena pada perlakuan pakan buatan P1, P2, dan P3 mengalami perubahan bentuk fisik pakan menjadi padat dan berair. Berbeda dengan perlakuan P4 yang tidak mengalami perubahan bentuk fisik.

Fekunditas imago betina dan fertilitas telur *G. mellonella*

Fekunditas imago betina yang meletakkan telur terbanyak, yaitu pada perlakuan P4 sebanyak 527,7 telur/betina, sedangkan produksi telur terendah terjadi pada perlakuan P1 sebanyak 169,6 telur/betina (Tabel 5). Fertilitas telur tertinggi

Tabel 3. Ukuran pupa dan imago *Galleria mellonella* pada berbagai perlakuan pakan ($n = 30$)

Table 3. Size of the pupa and the adult of *Galleria mellonella* in various diet treatments ($n = 30$)

Jenis pakan (Diet type)	Pupa		Bobot imago (Weight of Adult) (g)
	Panjang (Length) (cm)	Bobot (Weight) (g)	
P1	$1,02 \pm 0,15$	$0,05 \pm 0,02$	$0,98 \pm 0,14$
P2	$1,09 \pm 0,11$	$0,06 \pm 0,02$	$1,02 \pm 0,09$
P3	$1,08 \pm 0,13$	$0,05 \pm 0,02$	$1,01 \pm 0,11$
P4	$1,37 \pm 0,16$	$0,11 \pm 0,03$	$1,26 \pm 0,14$

P1: tepung jagung, ragi roti, bekatul gandum, gliserol; P2: tepung beras, tepung terigu, ragi roti, bekatul gandum, gliserol; P3: tepung terigu, ragi roti, bekatul gandum, gliserol; P4: MPASI beras merah, ragi roti, gliserol.

(P1: cornstarch, bread yeast, wheat bran, glycerol; P2: rice flour, wheat flour, bread yeast, wheat bran, glycerol; P3: wheat flour, bread yeast, wheat bran, glycerol; P4: complementary feeding red rice, bread yeast, glycerol).

Tabel 4. Mortalitas *Galleria mellonella* pada pakan buatan

Table 4. Mortality of *Galleria mellonella* in artificial diet

Perlakuan (Treatments)	Mortalitas (Mortality) (%)			Rerata mortalitas (Mortality rate) (%)
	Larva (Larva)	Prapupa (Prepupa)	Pupa (Pupa)	
P1	10,00	0,00	18,51	9,50
P2	16,67	0,00	16,00	10,89
P3	10,00	3,44	25,92	13,12
P4	0,00	0,00	13,33	4,44

P1: tepung jagung, ragi roti, bekatul gandum, gliserol; P2: tepung beras, tepung terigu, ragi roti, bekatul gandum, gliserol; P3: tepung terigu, ragi roti, bekatul gandum, gliserol; P4: MPASI beras merah, ragi roti, gliserol.

(P1: cornstarch, bread yeast, wheat bran, glycerol; P2: rice flour, wheat flour, bread yeast, wheat bran, glycerol; P3: wheat flour, bread yeast, wheat bran, glycerol; P4: complementary feeding red rice, bread yeast, glycerol).

terjadi pada perlakuan P1 dan tingkat fertilitas terendah terjadi pada perlakuan P4.

PEMBAHASAN

Perbedaan lama siklus hidup setiap fase serangga yang terjadi dapat dipengaruhi oleh jenis pakan dan kandungan nutrisi pada pakan. Menurut Sudarjat et al. (2021), formulasi bahan, jenis bahan baku, dan kadar gizi pada pakan buatan yang diberikan dapat memengaruhi kelangsungan hidup serangga. Pakan perlakuan P3 memberikan pengaruh lebih cepat terhadap lama siklus hidup *G. mellonella*. Formulasi bahan yang digunakan dalam perlakuan P3, yaitu tepung terigu dan bekatul gandum, merupakan produk yang dikenal memiliki kandungan nilai gizi proteinnya.

Menurut Katili (2009), protein merupakan makronutrisi yang memiliki peran dalam mengintegrasikan metabolisme guna mengontrol pertumbuhan dan diferensiasi dalam tubuh. Sementara itu, pada perlakuan P4 formulasi bahan yang digunakan terdiri atas MPASI beras merah yang kandungan nutrisinya sudah ditentukan. Bahan perlakuan P4 diduga mengandung kadar protein lebih rendah daripada perlakuan P3. Husain et al. (2020) menyatakan bahwa MPASI beras merah dirancang untuk membantu balita usia 6–24 bulan. Selain membantu proses pertumbuhan dan perkembangan balita, MPASI beras merah juga berfungsi untuk membantu dalam proses pencernaan menjadi lebih baik.

Selain protein, nutrisi yang diperlukan serangga dalam pakan di antaranya adalah lemak. Lemak yang terkandung dalam MPASI beras merah sebesar 2,5 g. Nilai tersebut dianggap rendah karena pada perlakuan P4 memberikan hasil perkembangan serangga lebih lama dari perlakuan lainnya. Hal tersebut karena lemak berperan penting dalam mensintesis hormon ecdison yang dapat memengaruhi perkembangan serangga (Chapman 1998). Ekdisteroid juga berperan dalam mengatur fungsi fisiologis, seperti pertumbuhan, metamorfosis, dan reproduksi (Fujaya et al. 2011).

Telur *G. mellonella* pada umumnya berbentuk bulat atau oval dan terdapat rambut halus yang menempel di sekitar kelompok telur. Kwadha et al. (2017) menyatakan bahwa telur *G. mellonella* berbentuk bulat dengan adanya garis bergelombang pada permukaan telur serta warna pada telur yang diletakkan pertama kali bervariasi, di antaranya berwarna merah muda, putih krem, dan putih. Imago betina meletakkan telur pada lipatan kertas, pada umumnya diletakkan secara kelompok, tetapi ada beberapa yang diletakkan secara individu. Telur yang akan menetas mengalami perubahan warna menjadi kecoklatan dengan embrio yang terlihat menyerupai larva di dalamnya. Embrio yang sudah matang akan terlihat jelas terdapat bintik berwarna hitam yang merupakan bagian mata dari larva. Telur yang menetas ditandai dengan adanya lubang pada bagian telur yang merupakan jalan keluarnya larva. Larva yang baru menetas akan menetap di dalam cangkang dengan memakan cangkang telur sebagai sumber makanannya dan

Tabel 5. Fekunditas dan fertilitas telur *Galleria mellonella* pada berbagai perlakuan

Table 5. Fecundity and egg fertility of *Galleria melonella* in various treatments

Jenis pakan (Diet type)	Jumlah imago betina (Number of female adult)	Jumlah telur (Number of egg)			Rata-rata telur/ betina (Average egg/ female)	Fertilitas telur (Egg fertility) (%)
		Menetas (Hatch)	Tidak menetas (Not hatch)	Total (Total)		
P1	5	269	579	848	169,6 ± 33,9 a	31,72
P2	7	221	1.124	1.345	192,1 ± 17,7 a	16,43
P3	5	351	1.476	2.177	365,4 ± 13,7 a	16,12
P4	10	772	4.505	5.277	527,7 ± 43,2 a	14,62

Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama merupakan hasil yang tidak berbeda nyata (uji tukey $\alpha = 0,05$). P1: tepung jagung, ragi roti, bekatul gandum, gliserol; P2: tepung beras, tepung terigu, ragi roti, bekatul gandum, gliserol; P3: tepung terigu, ragi roti, bekatul gandum, gliserol; P4: MPASI beras merah, ragi roti, gliserol.

(The numbers in the same row followed by the same letter were not significantly different (the Tukey test $\alpha = 0.05$). P1: cornstarch, bread yeast, wheat bran, glycerol; P2: rice flour, wheat flour, bread yeast, wheat bran, glycerol; P3: wheat flour, bread yeast, wheat bran, glycerol; P4: complementary feeding red rice, bread yeast, glycerol).

ada yang langsung keluar dari cangkang telur, kemudian menuju ke sumber pakan, yaitu sisiran lebah.

Elsawaf (1950) melaporkan penetasan telur *G. mellonella* berkisar 9–10 hari. Proses perkembangan embrio hingga menjadi larva yang akan menetas pada telur *G. mellonella* terjadi selama 5–6 hari (Abidalla & Battaglia 2018). Data yang diperoleh menunjukkan bahwa jumlah imago yang menghasilkan telur selama proses perkawinan dari jumlah imago yang berhasil berkembang tidak sama pada masing-masing perlakuan.

Larva yang baru keluar dari telur aktif bergerak masuk pada sisiran lebah. Larva aktif makan dan membentuk terowongan pada pakan yang diberikan. Terowongan yang dibentuk oleh larva dibuat menggunakan benang-benang halus yang keluar dari alat mulut dan diletakkan pada dinding terowongan. Menurut Ellis et al. (2013), penamaan serangga *G. mellonella* didasarkan oleh perilaku makan serangga yang disebut *galleriasis*. *Galleriasis*, yaitu perilaku makan dengan menggali terowongan pada sisiran lebah dan menghasilkan benang sutra yang dapat mengganggu keberadaan koloni lebah dalam sarang. Selain itu, pengaruh adanya benang-benang sutra yang dihasilkan, dapat menghalangi keluarnya calon imago lebah dari sel heksagonal pada sisiran sel peranakan (*brood cell*) dari lebah. Tubuh larva instar awal, berwarna putih kekuningan akan berubah menjadi abu-abu seiring perkembangan. Perkembangan fase larva *G. mellonella* terdiri atas beberapa instar yang dapat dicirikan dengan tahap pergantian kulit (*molting*) dan ukuran larva. Pengamatan lama setiap instar pada penelitian tidak diamati karena proses pergantian kulit larva *G. mellonella* terjadi di dalam terowongan. Perilaku larva *G. mellonella* cenderung menghabiskan waktunya di dalam terowongan dan hanya sesekali keluar.

Berdasarkan pengujian pakan buatan yang dilakukan menunjukkan bahwa fase larva *G. mellonella* tersingkat terjadi pada perlakuan P3 yang terdiri atas tepung terigu dengan kadar protein tinggi. Kadar protein tepung terigu dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu *hard flour*, *medium hard flour*, dan *soft flour*. *Hard flour* merupakan tepung terigu yang dibuat dari campuran *Canada Western Red Spring Wheat* (CWRS) dan *Australian Hard* (AH), yang termasuk golongan *hardwheat*.

Kadar protein yang dihasilkan berkisar 12–13%. *Medium hard flour* merupakan tepung terigu yang dibuat dari campuran 70% *hardwheat* (CWRS, AH) dan 30% *softwheat* (*Australian Standart Wheat* (ASW) dan *Australian Prime White* (APW) dengan kadar protein 9,5–11%. Sementara itu, *soft flour* merupakan tepung terigu yang dibuat dari campuran 20% *hardwheat* (APW) dan 80% (ASW) dengan kadar protein 7–8,5% (Setiokusumo et al. 2015). Katili (2009) menyatakan bahwa protein merupakan makronutrisi yang memiliki peran dalam mengintegrasikan metabolisme guna mengontrol pertumbuhan dan diferensiasi dalam tubuh. Menurut Susrama (2017), pemberian pakan yang mengandung protein tinggi dapat mempercepat pertumbuhan serangga. Hal tersebut karena protein merupakan salah satu komponen nutrisi tubuh yang menyediakan banyak substansi dasar dalam pembentukan jaringan tubuh serangga, sedangkan tepung beras cenderung memiliki kandungan karbohidrat yang berperan sebagai sumber energi.

Bahan pakan yang mendominasi pada perlakuan P1 terdiri atas tepung jagung dan bekatul gandum, sedangkan bahan pakan yang mendominasi pada perlakuan P4 adalah MPASI beras merah. Berdasarkan data nutrisi dalam bahan pangan USDA (2022), tepung jagung memiliki nilai protein yang lebih rendah dari pada tepung terigu sehingga dapat memengaruhi pertumbuhan stadia larva. Penggunaan MPASI beras merah memberikan hasil perkembangan larva yang lebih cepat daripada P1. Hal ini diduga meskipun kandungan protein dalam MPASI beras merah rendah, tetapi terdapat nutrisi lain yang terkandung dalam bahan pakan sehingga dapat mendukung pertumbuhan serangga. Rasio dasar kebutuhan makro nutrisi *G. mellonella* pada fase larva menurut Ramos et al. (2014), yaitu karbohidrat (0%), protein (0,35%), dan lemak (0,65%). Kebutuhan lemak yang tinggi pada fase larva diakibatkan lemak yang dikonsumsi berperan penting dalam proses kelangsungan hidup serangga menuju fase berikutnya. Peranan lemak bagi serangga *G. mellonella*, yaitu sebagai sumber energi potensial dalam tubuh selain karbohidrat dan protein, melarutkan vitamin yang larut dalam lemak (Siregar & Makmur 2020), berperan dalam pembentukan sayap sehingga tidak terjadi kecacatan, meningkatkan oviposisi serangga

(Susrama 2017), serta berperan mensintesis hormon *molting* dan hormon juvenil (Cohen 2004). Pertumbuhan larva yang semakin cepat disebabkan oleh respon dari proses pergantian kulit atau *molting* yang diatur hormon juvenil dan hormon 20-hidroksiekdison. Selain lemak, protein juga berperan dalam proses transportasi hormon tersebut. Transportasi hormon dalam hemolimfa serangga dibantu oleh protein pembawa hormon yang berfungsi melindungi hormon dari enzim pendegradasi yang terdapat di hemolimfa (Trisyono 2019).

Lama fase prapupa *G. mellonella* pada keempat perlakuan pakan menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata. Sementara itu, lama stadia pupa tersingkat ditemukan pada perlakuan P3. Hasil uji statistika menunjukkan bahwa perlakuan P3 memberikan hasil yang berbeda nyata dengan perlakuan P1, P2, dan P4. Kandungan protein yang tinggi pada tepung terigu dan bekatul gandum memengaruhi adaptasi serangga ketika memasuki fase pupa. Protein yang dikonsumsi serangga saat fase larva dapat disimpan dalam bentuk lemak dalam tubuh sehingga menjadi cadangan makanan saat memasuki fase pupa. Sementara itu, pakan yang mengandung tinggi karbohidrat akan disimpan menjadi lemak dalam tubuh serangga dalam jumlah yang lebih sedikit dibandingkan dengan pakan yang tinggi protein (Chapman 1998).

Kwadha et al. (2017) menyatakan bahwa karakteristik imago *G. mellonella* dapat dibedakan berdasarkan ukuran tubuh imago, yaitu ukuran imago betina berkisar 15–20 mm, sedangkan imago jantan lebih kecil dan memiliki sayap lebih terang dari imago betina. Imago betina memiliki *labial palpi* yang menonjol ke depan yang memperlihatkan penampilan seperti paruh, sedangkan *labial palpi* imago jantan terlipat ke arah dalam. Ujung sayap imago jantan terdapat lekukan seperti bulan sabit, sedangkan pada imago betina tidak terdapat lekukan. Antena imago serangga ini bertipe filiform dengan perbedaan pada ruas segmennya (40–50 ruas pada jantan dan 50–60 ruas pada betina). Berdasarkan penelitian yang dilakukan Desai et al. (2019) pada pakan buatan, menunjukkan siklus hidup imago betina *G. mellonella* lebih singkat dibandingkan dengan imago jantan. Imago betina memiliki lama hidup

$9,64 \pm 1,68$ hari, sedangkan imago jantan $14,4 \pm 1,98$ hari. Lama hidup imago jantan dan betina pada pakan sisiran lebah *A. cerana*, yaitu $16,40 \pm 1,84$ hari dan $6,90 \pm 0,74$ hari (Hosanami et al. 2017).

Lama hidup imago betina *G. mellonella* rata-rata lebih singkat daripada imago jantan. Peletakkan telur oleh imago betina berlangsung selama 1–4 kali setelah dipasangkan selama fase imago berlangsung. Menurut Rachmawati et al. (2010), tingkat keperidian serangga memiliki hubungan dengan ukuran tubuh imago betina. Semakin besar ukuran tubuh serangga maka semakin tinggi jumlah telur yang dihasilkan. Selain itu, berat pupa juga dapat memengaruhi tingkat fekunditas serangga (Perez & Wang 2004). Berat pupa *G. mellonella* pada perlakuan P4 memberikan hasil yang lebih tinggi daripada perlakuannya lainnya. Pupa yang memiliki berat dibawah standar akan memengaruhi lama fase hidup imago dan tingkat fekunditas serangga (Chapman 1998). Kadar nutrisi yang terkandung dalam pakan dapat menjadi faktor yang berkaitan dengan hasil tersebut. Semakin tercukupi jumlah pakan yang dikonsumsi maka jumlah telur yang dihasilkan oleh imago betina semakin banyak. Jenis formulasi pakan buatan yang dikonsumsi serangga dapat memengaruhi lama hidup imago betina yang nantinya akan memengaruhi jumlah telur yang dihasilkan (Gou et al. 2020). Menurut Mirth et al. (2019), kandungan makronutrisi, seperti karbohidrat, protein, dan lemak dalam pakan akan memengaruhi kerja hormon ekdison dan sinyal insulin sehingga merespons kinerja hormon juvenil yang nantinya akan memengaruhi kinerja dalam germarium, kuning telur, dan pematangan telur imago betina. Vitamin yang dikonsumsi serangga akan digunakan dalam menunjang proses pertambahan ukuran telur, jumlah butiran kuning telur, dan lemak yang mengisi sitoplasma. Sementara itu, kandungan mineral berfungsi dalam menunjang proses pembelahan sel dalam pembentukan telur.

Tingkat fertilitas telur *G. mellonella* dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal yang dapat memengaruhi tingkat fertilitas telur, yaitu kesuburan alat kelamin imago jantan dan betina yang diberi pakan buatan. Faktor eksternal yang dapat memengaruhi perkembangan telur, yaitu suhu dan

kelembapan. Menurut Kumar & Khan (2018), suhu yang rendah menyebabkan proses penetasan ngengat lilin yang semakin lama. Salah satu faktor internal yang dapat memengaruhi tingkat fertilitas telur, yaitu proses pembentukan dan jumlah kuning telur yang terdapat pada telur. Kuning telur dapat memengaruhi perkembangan embrio dalam telur karena berperan sebagai cadangan makanan untuk perkembangan embrio di dalam telur. Selain protein, lemak juga berperan penting dalam pembentukan kuning telur (Mirth et al. 2019). Kandungan protein pada bahan perlakuan P1 lebih rendah daripada bahan perlakuan P2 dan P3, tetapi memiliki kandungan lemak yang lebih tinggi dari kedua perlakuan tersebut. Berdasarkan data suhu dan kelembapan yang diamati, suhu dan kelembapan ruangan tempat penelitian berkisar 27,8–30,27 °C dan 76,3–87,3%. Berdasarkan penelitian Marston et al. (1975), suhu optimal dalam proses penetasan telur *G. mellonella*, yaitu 30 °C dengan kelembapan 80–90%.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi pakan buatan dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan *G. mellonella*. Pakan perlakuan P4 menunjukkan pengaruh terbaik pada biologi *G. mellonella*, seperti ukuran serangga yang lebih besar, tingkat mortalitas yang rendah, dan tingkat fekunditas telur yang tinggi sehingga mampu menjadi salah satu alternatif pakan buatan dalam budi daya *G. mellonella*.

KESIMPULAN

Perlakuan formula pakan buatan P1, P2, P3, dan P4 memberikan pengaruh yang berbeda terhadap aspek biologi *G. mellonella*. Perlakuan P4 merupakan perlakuan yang memberikan pengaruh terbaik pada beberapa aspek biologi *G. mellonella*, seperti ukuran serangga yang lebih besar, tingkat mortalitas yang rendah, dan tingkat fekunditas telur yang tinggi, sedangkan perlakuan pakan buatan P1 memberikan hasil terbaik pada tingkat fertilitas telur yang tinggi. Perlakuan lainnya (P2 dan P3) juga memberikan hasil terbaik pada siklus hidup serangga yang lebih cepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Urip dan Bapak Harjono sebagai peternak lebah di Kyudan RT 02 RW 11 Wringinputih, Borobudur, Magelang – Jawa Tengah yang telah memberikan sarang lebah sebagai bahan pengujian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bela Hasna Audia yang telah membantu dalam menyusun makalah ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidalla M, Battaglia D. 2018. Observations of embryonic changes in middle and late stages of the greater wax moth, *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Advances in Entomology* 6:189–197. DOI: <https://doi.org/10.4236/ae.2018.63015>.
- Aghdam HR, Porshokouh AY, Sedighi L. 2015. Temperature-dependent life table parameters of *Galleria mellonella* (L.) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Crop Protection* 4:727–738.
- Ambaw M, Teklehaimannot T, Workye M. 2020. The prevalence of wax moth and associated risk factors in selected districts of Arsi Zone. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 8:200–205.
- Bhatnagar S, Suman RK, Sharman N, Sankhla M. 2020. Infestation of greater wax moth *Galleria mellonella* in *Apis mellifera* colonies in Jodhpur (Rajasthan). *Journal of Entomology and Zoology Studies* 8:1194–1197.
- Chapman RF. 1998. *The Insect Structure and Function*. Cambridge. 5th UK: Cambridge University Press.
- Cohen AL. 2004. *Insect Diets: Science and Technology*. Washington: CRC PRESS. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203488690>.
- Desai AV, Siddhapara MR, Patel PK, Prajapati AP. 2019. Biology of greater wax moth, *Galleria mellonella* L. on artificial diet. *Journal Experimental Zoology India* 22:1267–1272.
- Erfan M, Purnomo H, Haryadi NT. 2019. Siklus hidup penggerek buah kopi (*Hypothenemus hampei* Ferr.) pada perbedaan pakan alami buah kopi dan pakan buatan. *Berkala Ilmiah Pertanian* 2:82–86. DOI: <https://doi.org/10.19184/bip.v2i2.16176>.
- Ellis JD, Graham JR, Mortensen A. 2013. Standard methods for wax moth research. *Journal of*

- Apicultural Research* 52:1–17. DOI: <https://doi.org/10.3896/IBRA.1.52.1.10>.
- El-Sawaf SK. 1950. The life history of the greater wax moth (*Galleria mellonella*) with characters for identification of instars. *Journal of the Georgia Entomological Society* 5:65–68.
- Fujaya Y, Aslamsyah S, Usman Z. 2011. Respon molting, pertumbuhan, dan mortalitas kepiting bakau (*Scylla olivaceae*) yang disuplementasi vitomolt melalui injeksi dan pakan buatan. *Jurnal Ilmu Kelautan* 16:211–218.
- Gou Y, Quandahor P, Zhang K, Guo S, Zhang Q, Liu C, Coulter JA. 2020. Artificial diet influences population growth of the root maggot *Bradysia imipatiens* (Diptera: Sciaridae). *Journal Insect Science* 20:1–7. DOI: <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa123>.
- Hanumanthaswamy BC, Rajagopal D. 2017. Natural enemies of greater wax moth *Galleria mellonella* Linnaeus in honey bee colonies. *Journal of Current Microbiology and Applied Science*. 6:3418–3421. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.608.409>.
- Haque A, Islam S, Bari A, Hossain A, Athanassiou CG, Hasan M. 2021. Cold storage-mediated rearing of *Trichogramma evenescens* Westwood on eggs of *Plodia interpunctella* (Hubner) and *Galleria mellonella* L. *PLoS ONE* 16:1–14. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253287>.
- Hosanami V, Swamy H, Reddy MS, Kattimani KN, Kalibawi CM. 2017. Effect of different honeybee species comb on the life stages and biological parameters of greater wax moth (*Galleria mellonella* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6:3807–3810. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijemas.2017.611.446>.
- Husain N, Aziz R, Engelen A. 2020. Karakteristik bubuk bayi instan berbahan dasar tepung beras merah dengan penambahan ekstrak daun kelor (*Moringa oleifera* Lam). *Journal of Agritech Science* 4:30–43. DOI: <https://doi.org/10.30869/jasc.v4i1.558>.
- Jorjao AL, Oliveira LD, Scorzoni L, Figueiredo-Godoi LMA, Prata MCA, Jorge AOC, Junqueira JC. 2018. From moths to caterpillars: Ideal conditions for *Galleria mellonella* rearing for in vivo microbiological studies. *Virelence* 9:383–389. DOI: <https://doi.org/10.1080/21505594.2017.1397871>.
- Katili AS. 2009. Struktur dan fungsi protein kolagen. *Jurnal Pelangi Ilmu* 2:19–29.
- Kumar G, Khan MS. 2018. Study of the life cycle of greater wax moth (*Galleria mellonella*) under storage conditions in relation to different weather conditions. *Journal Entomology and Zoology Studies* 6:444–447
- Kwadha CA, Ong'amo GO, Ndegwa PN, Raina SK, Fombong AT. 2017. The biology and control of the greater wax moth *Galleria mellonella*. *Journal Insects* 8:2–17. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects8020061>.
- Marston N, Campbell B, Boldt PE. 1975. Mass producing eggs of the greater wax moth *Galleria mellonella* (L.). *Bulletin Technical* 1510:1–23.
- Metwally HMS, Hafez GA, Hussein MA, Husein MA, Salem HA, Saleh MME. 2012. Low cost artificial diet for rearing the greater wax moth *Galleria mellonella*. *Egyptian Journal of Pest Control* 22:15–17.
- Mikulak E, Gliniewicz A, Przygodzka M, Solecka J. 2018. *Galleria mellonella* L. as model organism used in biomedical and other studies. *Przegląd Epidemiologiczny* 72:57–73.
- Mirth CK, Alves AN, Piper MDW. 2019. Turning food into egg: Insights from nutritional biology and developmental physiology of *Drosophila*. *Current Opinion in Insect Science* 31:49–57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.08.006>.
- Morales-Ramos A, Rojas MG, Coudron TA. 2014. *Artificial Diet Development for Entomophagous Arthropods*. Maryland: Department of Agriculture, USDA.
- Mowlds P, Kavanagh K. 2008. Effect of pre-incubation temperature on susceptibility of *Galleria mellonella* larvae to infection by *Candida albicans*. *Mycopathologia* 165:5–12. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11046-007-9069-9>.
- Negi N, Thakur M, Sharma HK, Rana K. 2019. Incidence and management of greater wax moth, *Galleria mellonella*. *Journal of Entomological Research* 43:139–143. DOI: <https://doi.org/10.5958/0974-4576.2019.00027.6>.
- Nurhudiman, Hasibuan R, Hariri AM, Purnomo. 2021. Uji potensi daun babadotan (*Ageratum conyzoides* L.) sebagai pestisida botani terhadap hama (*Plutella xylostella* L.) di laboratorium. *Jurnal Agrotek Tropika* 6:91–98. DOI: <https://doi.org/10.23960/jat.v6i2.2600>.
- Perez AJ, Wang Q. 2004. Effect of body weight on reproductive performance in *Cnephasia jactatana* (Lepidoptera: Tortricidae). *Journal of Insect Behavior* 17:511–522. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:JOIR.0000042538.19559.09>.

- Rachmawati, Buchori D, Hidayat P, Hem S, Fahmi MR. 2010. Perkembangan dan kandungan nutrisi larva *Hermetia illuscens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) pada bungkil kelapa sawit. *Jurnal Entomologi Indonesia* 7:28–41. DOI: <https://doi.org/10.5994/jei.7.1.28>.
- Raghunandan KS, Basavarajappa S. 2014. Incidence of *Galleria mellonella* infestation on *Apis dorsata* colonies at different regions of South-Western Karnataka. *Journal of Scientific Research* 3:542–544. DOI: <https://doi.org/10.15373/22778179/FEB2014/182>.
- Rasyid YN, Rahman IP, Itmal. 2018. Uji efektivitas larva ngengat lilin (*Galleria mellonella*) terhadap polimer polietilena dalam upaya degradasi limbah plastik. *Jurnal Penelitian dan Penalaran*. 5:1–10.
- Setiokusumo C, Liang C, Kristanti N. 2015. *Proses Pengolahan Gandum Menjadi Tepung Terigu di PT. Indofood Sukses Makmur, Tbk. Bogasari Flour Mills Surabaya*. Laporan Praktek Kerja Industri. Surabaya: Universitas Katolik Widya Mandala.
- Setyowati DL. 2008. Iklim mikro dan kebutuhan ruang terbuka hijau di Kota Semarang. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*. 15:125–140.
- Siregar FA, Makmur T. 2020. Metabolisme lipid dalam tubuh. *Jurnal Inovasi Kesehatan Masyarakat* 1:60–66.
- Sudarjat, Rosmiyati A, Sunarto T, Kurniawan W. 2021. Pengaruh komposisi pakan buatan terhadap perkembanganbiakan *Menochilus sexmaculatus* Fabricius (Coleoptera: Coccinellidae). *Jurnal Agrikultura* 31:116–125. DOI: <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v31i2.28816>.
- Susrama IGK. 2017. Kebutuhan nutrisi dan substansi dalam pakan buatan serangga. *E-jurnal Agroekoteknologi Tropika* 6:310–318.
- Tremblay A. 1978. Controlled release fumigation of the greater wax moth *Galleria mellonella* (L.) a pest of stored honey comb. Tesis. Oregon: Oregon State University.
- Trisyono YA. 2019. *Insektisida Pengganggu Pertumbuhan dan Perkembangan Serangga*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Tsai CJY, Loh JMS, Proft T. 2016. *Galleria mellonella* infection models for the study of bacterial diseases and for antimicrobial drug testing. *Virulence* 7:214–229. DOI: <https://doi.org/10.1080/21505594.2015.1135289>.
- [USDA] US Departement of Agriculture. 2022. Food info. http://vegant.com/foods/wheat_flour_all-purpose_enriched_bleached.html. [diakses 22 Desember 2021].