JURNAL KIMIA MULAWARMAN
Vol 24, No. 1, Jul - Des 2026 pp. 1-14
https://jurnal.kimia.fmipa.unmul.ac.id/index.php/JKM
P-ISSN 1693-5616 E-ISSN 2476-9258

Laju Dekomposisi Sampah Organik oleh Larva Maggot (Hermetia illucens) dan Sintesis Kitosan dari Cangkang Maggot serta Pemanfaatan sebagai Edible Coating

Agustina Rahayu Magdaleni[a,b,*], Rudy Agung Nugroho[c], Gadis Meinar Sari[d], Subur P. Pasaribu[e], Hadi Kuncoro[f], Yadi[b], Henny Pagoray[g], Daniel[e]

[a] Program Doktor Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Mulawarman Samarinda, Indonesia.
[b] Program Studi Dokter, Fakultas Kedokteran Universitas Mulawarman Samarinda, Indonesia
[c] Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman Samarinda, Indonesia.
[d] Program Studi Dokter, Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia 60131
[e] Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman Samarinda, Indonesia.
[f] Jurusan Farmasi, Fakultas Farmasi Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia.
[g] Jurusan Budidaya Perikanan, Fakultas Perikanan, Universitas Mulawarman Samarinda, Indonesia.

* Corresponding Author: agustinachalvint@gmail.com

ABSTRACT

Black Soldier Fly (BSF), or Hermetia illucens, is a Dipteran insect capable of reducing organic waste through its larval stage. BSF larvae can also be used as animal feed due to their high protein content. This study aimed to investigate the BSF life cycle, evaluate its ability to decompose various organic wastes, and determine larval survival rates under different waste treatments. The BSF life cycle lasted approximately 52 days, consisting of eggs (3–4 days), larvae (23 days), prepupae (9 days), pupae (7 days), and adults (3–9 days). In a 12-day decomposition experiment involving four organic waste treatments with three replicates each, the average waste reduction was 222.37 g for watermelon, 201.87 g for mango, 167.17 g for vegetables, and 131.37 g for pineapple. The highest larval survival rate was observed in vegetable waste (91.2%), followed by mango (86.5%), pineapple (86%), and watermelon (61.5%). Furthermore, chitosan was synthesized from BSF pupal exuviae and evaluated as an edible coating for tomatoes. Chitin extraction yielded 14.80%, while chitosan production yielded 12% with a degree of deacetylation of 75.06%. The application of BSF-derived chitosan significantly affected tomato weight loss, with the 2% concentration providing the best result. However, it did not significantly affect the reduction in vitamin C content during seven days of storage. These findings demonstrate the potential of BSF in organic waste management and the utilization of its pupal exuviae as a source of chitosan for food preservation.

This is an open-access article under the CC–BY-SA license.

OPEN ACCESS

Article History
Received 2026-07-29
Revised 2026-08-07
Accepted 2026-10-10
Publish 2026-11-30

Keywords
organic waste,
life cycle,
decomposition rate,
survival rate,
Chitin,
Chitosan,
Hermetia illucens,
edible coating.

1. Latar Belakang

Sampah organik yang berada di lingkungan merupakan permasalahan serius yang dihadapi oleh masyarakat. Dengan kata lain setiap hari sampah yang dihasilkan baik sampah organik dan sampah anorganik meningkat jumlahnya. Misalnya provinsi DKI mencapai 6000 ton sampah setiap harinya, 65%-nya merupakan sampah organik [1]. Ibu kota Kalimantan Timur yaitu Samarinda memproduksi limbah organik yang tinggi bahkan bisa mencapai 450 ton perhari, dan sekitar 60% merupakan limbah Buah-buahan dan sayuran [2]. Limbah ini banyak

ditemukan di pasar yaitu hasil dari kegiatan manusia yang dipergunakan sebagai bahan pakan ternak [3].

Sampah organik yang biasanya berasal dari sisa atau limbah pengolahan makanan, sering kali menjadi penyebab pencemaran lingkungan baik di udara, air dan tanah, salah satunya menimbulkan aroma tidak sedap. Sehingga perlu dikelola dengan baik agar tidak menjadi media perkembangbiakan serangga vektor maupun hewan lainnya yang dapat memengaruhi kesehatan lingkungan sekitar. Sampah organik dapat diolah menjadi pupuk organik, biogas, kompos dan dapat dikelola sebagai sumber energi atau produk lainnya [1], [3]. Salah satunya limbah organik dapat dijadikan menjadi pakan ternak pada budidaya larva maggot (*Hermetia illucens*) dari lalat BSF. Penggunaan sampah organik dapat mengurangi beban TPA sebagai bahan makanan bagi larva BSF [3]. Larva lalat (*maggots*) dapat hidup di lingkungan yang cukup ekstrim, seperti sampah yang banyak mengandung alkohol, garam, asam dan amonia [1], [3]. Lalat tentara hitam menyukai sampah dengan aroma media yang khas, dan tidak semua media dapat dijadikan tempat untuk bertelur bagi lalat *ini* [4]. Larva BSF dapat mendegradasi sampah organik yang mengekstrak energi dan nutrien dari sampah organik seperti sisa makanan, bangkai hewan, sayuran, dan kotoran sebagai bahan makanannya [5], [6].

Pada budi daya lalat serdadu hitam ini dihasilkan produk samping berupa selongsong (*exuviae*) yaitu eksoskeleton yang ditinggalkan saat pergantian kulit dari pupa ke tahap instar berikutnya. Total selongsong maggot yang dihasilkan sekitar 2/5 dari total produksi, sayangnya belum dimanfaatkan dengan baik [7]. Menurut Abdul Rahma *et al.* [8], selongsong maggot (*Hermetia illucens)* berpotensi untuk dijadikan bahan baku dalam produksi kitosan. Selongsong maggot yang diolah menjadi kitosan tentu akan menaikan nilai ekonomisnya dan bermanfaat secara luas pada berbagai bidang.

Kitin [(C8H13NO5)n] adalah polimer yang rantainya tidak bercabang, memiliki 2000–3000 monomer (2-asetamida-2-deoksi-β-D-glukosa) yang dihubungkan dengan ikatan 1,4-β-glikosida. Proses deasetilasi kitin menggunakan larutan alkali pada suhu tinggi menghasilkan kitosan [(C6H11NO4)n]. Keunggulan dari polimer kitosan adalah bersifat tidak toksik dan mudah terdegradasi [9]. Pada bidang pangan, kitosan bermanfaat sebagai *edible coating* [10].

Kitosan termasuk polisakarida yang bermanfaat sebagai *edible coating* karena mampu menghalangi masuknya air, menurunkan kecepatan respirasi buah dan sayuran, serta dapat menghambat pembusukan yang disebabkan oleh bakteri patogen karena mempunyai gugus amina (NH2). Gugus amina ber muatan positif sehingga dapat mengikat dinding sel bakteri yang ber muatan negatif. Buah-buahan dan sayuran yang dilapisi kitosan tetap aman dikonsumsi karena kitosan merupakan pelapis alami yang tidak beracun bagi manusia. Kitosan diaplikasikan sebagai *edible coating* pada buah dan sayuran dengan cara direndam, dicelupkan, atau disemprot [11], [12].

Novita *et al.* [13] melaporkan perendaman buah tomat dalam larutan kitosan 1% (b/v) selama 10 menit dapat memperpanjang masa simpan tomat menjadi 20 hari. Fernando *et al*. [14] melaporkan mutu buah jambu biji dapat terjaga selama 8 hari setelah dilapisi larutan kitosan 3% (b/v) dengan perendaman selama 1 jam. Hilma *et al.* [15] melaporkan pelapisan kitosan 2% (b/v) pada buah anggur hijau dapat mempertahankan karakteristik fisik berupa warna, aroma, dan tekstur selama 7 hari sedangkan pelapisan kitosan 1% (b/v) mampu mempertahankan kadar vitamin C hingga masa penyimpanan selama 4 hari [16].

Dari latar belakang yang disampaikan dan berdasarkan studi literatur yang sudah di pelajari akan dilakukan penenlitian mengenai lama siklus hidup BSF, menghitung persentase reduksi sampah organik oleh BSF dan tingkat keberhasilan hidup pada media pakan yang berbeda, serta perlu dilakukan penelitian untuk mengekstraksi kandungan kitin dalam selongsong maggot BSF (*Hermetia illucens*) yang kemudian disintesis menjadi kitosan. Kitosan yang diperoleh selanjutnya diaplikasikan menjadi pelapis (*edible coating*) pada buah tomat sebagai solusi pemanfaatan selongsong maggot (*Hermetia illucens*) dalam bidang pangan.[17], [18]

2. Metodologi Penelitian

2.1. Laju Dekomposisi Sampah Organik

Penelitian ini merupakan ekperimen, metode teknik Rancangan Acak Lengkap (RAL) dimana dilakukan 4 perlakuan dan 3 kali pengulangan. Menggunakan Larva sebanyak 200 ekor dan berat pakan masing-masing 100 mg/larva/hari. Pemberian pakan setiap 3 hari, sekaligus penimbangan sisa pakan. Pengukuran laju reduksi sampah oleh larva dilakukan 3 kali pengulangan yaitu: Perlakuan A : Sampah nanas; Perlakuan B : Sampah buah semangka; Perlakuan C : Sampah buah mangga; Perlakuan D : Sampah sayura

2.2. Penetasan Telur

Media yang telah difermentasi dikeluarkan ke wadah plastik (baskom yang berdiamter ±20 cm) untuk diletakkan telur maggot yang akan menetas, persiapan penetasan telur menjadi larva dilakukan dengan cara meletakkan telur maggot diatas tisu yang telah dibasahi dengan air pada kawat di dalam baskom yang berisi media tumbuh, kemudian diamati selama beberapa hari hingga menetas dan dijaga kelembabannya dengan cara menyemprotkan air. Diamati Siklus hidup BSF mulai dari fase telur sampai lalat dewasa, dilakukan pengamatan setiap hari dengan melihat perubahan yang terjadi, hingga waktu yang dibutuhkan pada setiap fase serta keseluruhan siklus sampai selesai meliputi fase hidup BSF beserta ciri-ciri fisik dan perilaku pada setiap fase , hasil pengamatan dicatat dalam bentuk tabel. Laju dekomposisi sampah dihitung dari sisa pakan dibandingkan dengan berat pakan awal perlakuan [19].

2.3. Persiapan Perlakuan dan Pemberian Pakan

Disiapkan sampah organik berupa buah nanas, buah semangka, buah mangga dan sampah sayuran masing-masing sebanyak 60 gr/3 hari untuk setiap wadah yang berisi 200 ekor larva selama 12 hari, hal tersebut mengacu pada terdahulu yang menyebutkan bahwa dari 3 jenis jumlah variasi pakan yaitu 100 mg; 150 mg; 200 mg sampah, yaitu pada pemberian pakan 100 mg/larva/hari. Pemberian pakan dimulai sejak berumur 7 hari, untuk diletakkan pada perlakuan pakan dari sampah organik yang berbeda, masing-masing sebanyak 3 pengulangan yaitu 200 ekor/wadah. Pemberian pakan dan penimbangan sisa pakan dilakukan setiap 3 hari agar tingkat stres pada larva berkurang [20]

2.4. Pengumpulan Data dan Tingkat Keberhasilan Hidup

Pengambilan data reduksi sampah dilakukan setiap 3 hari selama masa pertumbuhan larva BSF yaitu 12 hari pemberian pakan dengan menimbang jumlah pakan awal dan jumlah pakan akhir pada setiap perlakuan dan pengulangan. Tingkat keberhasilan hidup dapat diketahui dengan cara menghitung jumlah larva yang digunakan pada awal dan akhir penelitian dihitung berdasarkan Rumus berikut:

$$SR = \frac{y}{z} \times 100$$

Keterangan:

SR = Survival - Rate (%)

y = Jumlah larva yang hidup pada akhir pemeliharaan.

z = Jumlah larva yang hidup pada awal pemeliharaan.

2.5. Isolasi Kitin dan Sintesis Kitosan

Pada tahap ini dilakukan secara percobaan di laboratorium melalui tahap : preparasi selongsong maggot BSF (*Hermetia illucens*) dengan dicuci bersih dan dikeringkan hingga berat konstan. Selanjutnya dilakukan ekstraksi kitin dengan metode demineralisasi, deproteinasi, dan depigmentasi. Selanjutnya kitin disintesis menghasilkan kitosan dengan metode de-asetilasi. Kitin dan kitosan yang dihasilkan ditentukan persentasenya lalu dikarakterisasi keduanya dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) serta dihitung derajat deasetilasi kitosan. Kitosan hasil sintesis selanjutnya diaplikasikan sebagai *edible coating* pada buah tomat ke dalam larutan kitosan dengan asam asetat 1%(v/v) pada konsentrasi 1%; 1,5%; dan 2% (b/v). *Edible coating* kitosan dengan variasi konsentrasi tersebut selanjutnya dilapiskan pada buah tomat dengan cara pencelupan. Parameter yang diamati berupa perubahan karakteristik fisik (warna dan

tekstur), susut bobot, serta kadar vitamin C buah tomat setelah pelapisan *edible coating* kitosan 1%; 1,5%; 2% (b/v), dan tanpa pelapisan kitosan pada hari ke-3, 5, dan 7 penyimpanan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Siklus Hidup

Siklus hidup dari BSF termasuk metamorfosis yang sempurna dengan yaitu mulai dari telur, larva, prepupa, pupa dan lalat. Berikut adalah tabel hasil pengamatan tahapan perkembangan dan lama waktu yang dibutuhkan setiap fase hidup BSF.

Table 1. Siklus Hidup *Black Soldier Fly*

No	Fase Hidup	Waktu
1	Telur	Telur menetas pada hari ke 3-4
	Larva	Usia larva berlangsung selama 23 hari
	Instar - 1	3 - 4 hari
	Instar - 2	2 - 3 hari
2	Instar - 3	2 - 3 hari
	Instar - 4	4 hari
	Instar - 5	4-5 hari
	Instar - 6	4-5 hari
3	Prepupa	Usia prepupa berlangsung 9 hari
4	Pupa	Pupa Berlangsung selama 7 hari
5	Lalat	Lalat hidup sekitar 3-9 hari

Lama siklus hidup berlangsung selama ±52 hari yaitu terdiri dari fase telur yang berlangsung 3-4 hari, fase larva sebagai fase hidup terlama yaitu ±23 hari, prepupa selama ±9 hari yang dilanjutkan fase pupa selama ±7 hari dan terakhir fase lalat yang berlangsung singkat dalam kurun waktu 3-9 hari. Hal tersebut tidak sesuai dengan literatur Hakim [21] yang menyatakan bahwa siklus hidup pada lalat *Black Soldier Fly* berlangsung ± 40 - 43 hari, tergantung pada keadaan lingkungan dan umpan yang tersedia.

3.2. Reduksi Sampah

Kecepatan reduksi sampah organik yang dilakukan oleh maggot atau larva BSF dapat diukur dari berat awal dikurangi dengan berat akhir sampah. Menurut Rofi [22] Nilai reduksi sampah organik berbanding lurus dengan pertumbuhan dan perkembangan larva BSF. Selain itu beberapa faktor-faktor lain juga memepengaruhi tinggi rendahnya nilai reduksi misalnya tingkat kematian.

Nilai reduksi dihitung dengan menggunakan *feeding rate* 100 mg/larva/hari dengan jumlah larva pengamatan sebanyak 200 ekor larva setiap wadah (baskom) dengan menggunakan 12 wadah yang dilakukan selama 12 hari pengamatan. Berikut hasil pengamatan rata-rata nilai reduksi sampah organik.

Table 2. Rata-rata Nilai Reduksi Sampah Organik Setiap 3 Hari

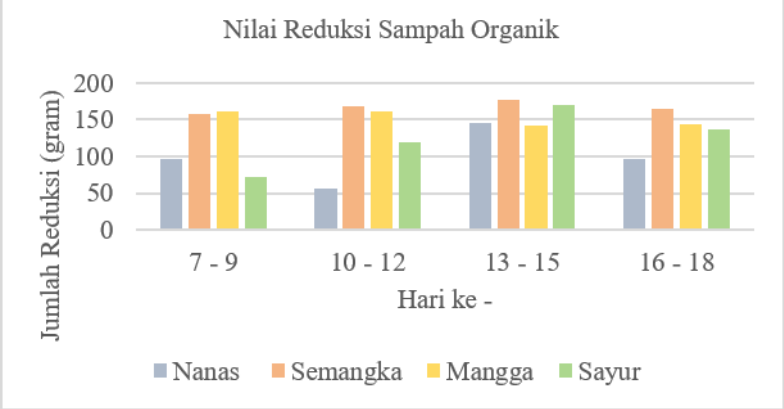
Hari Ke -	Nilai Reduksi Sampah Organik Larva BSF				Total
	Nanas(gr)	Semangka(gr)	Mangga(gr)	Sayur(gr)	(gr)
7 - 9	95,9	157,5	160,1	72	485,5
10 - 12	56,6	167,2	160,4	119,7	503,9
13 - 15	144,7	177,3	140,9	170,1	633
16 - 18	96,9	165,1	144,2	136,7	542,9
Rata-rata	98,525	166,775	151,4	124,625	

Berdasarkan Tabel 2 rata-rata nilai reduksi diperoleh hasil paling tinggi yaitu pada pemberian buah semangka sebesar 166,775 gram dan hasil paling rendah pada pemberian buah nanas yang berjumlah 98,525 gram.

Total nilai reduksi tertinggi terjadi pada usia ke 13 sampai 15 hari umur larva BSF yang mereduksi sampah sebanyak 633 gram dan pada hari ke 16-18 umur larva, nilai reduksi mencapai 542,9 gram. Pada hari ke 16-18 serta 13-15 hari umur larva, tercatat 2 perlakuan

 ISSN 2476-9258

memiliki reduksi optimum yaitu pada sampah buah semangka dan sayuran, bahkan pada hari ke 13-15 umur larva mampu mereduksi sampah buah semangka dan sayur hingga 177,3 gram dan 170,1 gram dalam waktu tiga hari. Nilai reduksi terkecil yaitu hari ke 7 sampai 9 umur larva, hanya mampu mereduksi sebanyak 485,5 gram hal tersebut karena larva usia 7-9 hari masih berukuran kecil dan belum bisa mereduksi sampah organik dalam waktu yang lebih singkat, hal ini sesuai dengan penelitian Rofi [22] yang mengatakan larva yang baru menetas cenderung mencari makan yang dapat dicerna dengan mudah olehnya, seperti pisang yang memiliki tekstur lunak dan juga mengandung karbohidrat yang tinggi.



Gambar 1. Grafik Nilai Reduki Sampah Organik Larva BSF

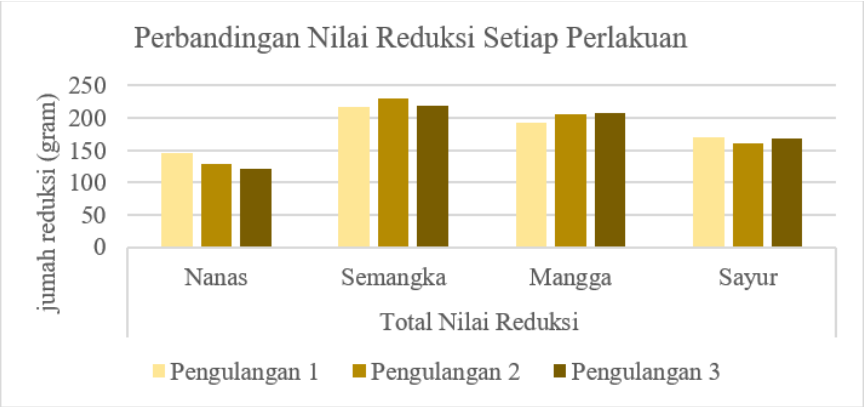
Berdasarkan Gambar 1 terlihat kenaikan nilai reduksi sampah oleh larva BSF pada jenis sampah buah semangka, hari ke 13-15 hari 177,3 gram. Hal tersebut disebabkan karena pemberian daging buah semangka tanpa kulit dengan tekstur sangat lunak dan sangat berair hal tersebut barkaitan dengan penelitian sebelumnya, kandungan kadar air semangka dapat menguap menjadi 0% dengan kurun waktu 32 jam. Sementara nilai reduksi terendah terjadi pada sampah buah nanas hari ke 10. Hal tersebut disebabkan karena sampah buah nanas yang digunakan berupa kulit nanas yang bertekstur keras dan agak kering sehingga larva sulit untuk memakan dan mereduksi sampah tersebut.

Nilai reduksi dari sampah organik digunakan untuk menghitung *Waste Reduction Index* (WRI). Nilai WRI ini berfungsi untuk menentukan tingkat reduksi sampah pada waktu tertentu. Besarnya nilai WRI berbanding lurus dengan jumlah konsumsi pakan, artinya semakin besar nilai WRI maka konsumsi pakan larva BSF semakin banyak. Total nilai reduksi sampah organik yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3. berikut.

Table 3. Perbandingan Total Nilai Reduksi Sampah Organik Setiap Perlakuan

	Perbandingan Nilai Reduksi Setiap Perlakuan			
	Nanas (gr)	**Semangka (gr)**	**Mangga (gr)**	**Sayur (gr)**
Pengulangan 1	145	217,4	193,4	169,4
Pengulangan 2	128,3	230	205,4	160,5
Pengulangan 3	120,8	219,7	206,8	168,6
Rata-rata	131.3	222,3	201,8	166,17

 ISSN 2476-9258



Gambar 2. Grafik Perbandingan Nilai Reduksi Sampah Organik Larva BSF Setiap Perlakuan

Berdasarkan Gambar 2 nilai reduksi pada perlakuan sampah buah semangka mencapai 222,37 gram. Pada perlakuan buah nanas 166,17 gram. Berdasarkan nilai reduksi sampah organik pada Tabel 3 maka dapat dihitung nilai penurunan sampah organik total dan WRI dengan Rumus 3.1 dan Rumus 3.2.

3.3. Waste Reduction Indeks

Indeks pengurangan limbah (waste reduction index/ WRI) yaitu indeks pengurangan sampah organik yang dilakukan oleh larva selama 12 hari pengamaatan. Penurunan sampah organik berdasrakan rumus 3.1 dan Nilai WR1 menggunakan rumus 3.2 , nilai WR1 dapat dilihat pada tabel 4.

$$D = \frac{W - R}{W} \qquad \text{Rumus 3.1}$$

$$WRI = \frac{D}{t} \times 100 \qquad \text{Rumus 3.2}$$

Table 4. Nilai WRI (*Waste Reduction Indeks)*

	WRI			
	Nanas (%)	**Semangka (%)**	**Mangga (%)**	**Sayur (%)**
Pengulangan 1	5,03	7,55	6,72	5,88
Pengulangan 2	4,45	7,99	7,13	5,57
Pengulangan 3	4,19	7,63	7,18	5,85
Rata-rata	4,56	7,72	7,01	5,77

Dari Data Tabel 4 diatas diperoleh nilai WRI tertinggi pada sampah organik semangka 7,72% dan nilai WR1 terkecil yaitu pada sampah organik nanas dengan 4,56%. Nilai WRI dalam penelitian ini tertinggi mencapai 7,72% lebih tinggi dari penelitian terdahulu dengan *feeding rate* 100 mg/larva.hari Saragi dan Bagastyo [23] bernilai 2,75% Rofi dkk. [22] bernilai 0,42% Nugraha [24] bernilai 3,39% . Nilai dari WRI berbanding lurus dengan banyaknya sampah yang dikonsumsi. [24].

3.4. Survival Rate BSF

Tingkat reduksi sampah akan mempengaruhi kematian BSF disebabkan oleh kadar air terlalu tinggi pada makanan. Persentase tingkat keberhasilan hidup disajikan dalam Tabel 5. Kematian larva BSF disebabkan oleh pakan yang terlalu basah. Menurut Rofi [22] kematian dari larva BSF disebabkan oleh adanya NH_3 dan gas metan pada media tumbuh, sehingga oksigen berkurang dan meninggikan suhu disekitar lebih dari 45°C. Keberhasilan hidup (SR) pada pertumbuhan larva BSF dapat perkirakan menggunakan rumus berikut :

$$SR = \frac{y}{z} \times 100 \qquad \text{Rumus 3.3}$$

Table 5. Tingkat Keberhasilan Hidup BSF

Pengulangan	Survival Rate Larva BSF							
	Nanas		Semangka		Mangga		Sayur	
	(ekor)	(%)	(ekor)	(%)	(ekor)	(%)	(ekor)	(%)
Pengulangan 1	178	89,0	95	47	186	93	185	92,5
Pengulangan 2	175	87,5	157	78	150	74,5	180	90
Pengulangan 3	164	82	116	58	181	90,5	182	91
Rata-rata	172	86	122	61	172	86	182	91

Dari Tabel 5 Nilai SR tertinggi yaitu pada sampah sayur yaitu 182 ekor, SR terendah yaitu pada sampah buah semangka yaitu 122 ekor, Menurut Saragi dan Bagastyo [23] menyatakan bahwa kondisi media tumbuh dengan kadar air yang terlalu tinggi menyebabkan kondisi menjadi suasana anaerobik, Kondisi akan menghasilkan NH_3 dan CH_4 yang bisa menghambat proses konsumsi dan mempengaruhi pertumbuhan larva. Sedangkan pada perlakuan sampah sayuran hari ke 10 hingga 18 diberikan jenis sayuran yang berdaging banyak seperti terong, timun dan wortel, sehingga walaupun larva membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mereduksi sampah tersebut, tapi kelembaban pada media tidak berlebihan untuk mendukung pertumbuhan nya. Selain itu menurut Rofi [22], sampah oraganik yang diberikan secara tanpa melewati proses fermentasi memiliki kadar air lebih rendah daripada buah yang difermentasi, dan kematian larva yang rendah. Dari 4 Kali perlakuan dan 3 kali pengulangan, rata-rata tingkat keberhasilan hidup sebesar 81% dapat dilihat pada tabel 3. [25]

3.5. Sintesis Kitosan

3.5.1. Ekstraksi Kitin dan Sintesis Kitosan

Bahan dasar dalam penelitian ini adalah selongsong maggot BSF (*Hermetia illucens*) yang sebelumnya sudah dicuci, dikeringkan, dan digerus menjadi serbuk. Proses ekstraksi kitin dilakukan dengan metode kimiawi yang meliputi proses demineralisasi, deproteinasi, dan depigmentasi. Kemudian dilakukan sintesis kitosan dari kitin dengan reaksi deasetilasi [26]. Demineralisasi dilakukan dengan menggunakan larutan HCl 3 M, dimaksudkan guna melepaskan mineral anorganik yang terkandung dalam selongsong maggot BSF yang umumnya berupa kalsium karbonat dan kalsium fosfat [26]. Indikasi terjadinya reaksi demineralisasi ialah munculnya gelembung udara yang merupakan gas CO2. Reaksi demineralisasi adalah sebegai berikut [27]. Proses selanjutnya, yaitu deproteinasi menggunakan larutan NaOH 3,5% (b/v), dimaksudkan guna melepaskan protein yang terikat dengan kitin. Pada proses ini, ion Na^+ dari NaOH akan terikat oleh ujung dari rantai protein yang memiliki muatan negatif lalu akan menghasilkan natrium proteinat [28]. Terjadinya reaksi deproteinasi ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi kemerahan dan sedikit mengental. Hal ini disebabkan terlepasnya protein dari kitin membentuk natrium proteinat [29]. Reaksi deproteinasi adalah sebagai berikut [30].

Proses selanjutnya, yaitu depigmentasi, dimaksudkan guna menghilangkan zat warna (pigmen) cokelat dari sampel, selanjutnya dilakukan perendaman dalam larutan KMnO4 1% (b/v) lalu dilanjutkan dengan perendaman dalam larutan H2C2O4 1% (b/v). Larutan KMnO4 berfungsi sebagai reagen oksidator yang dapat menghilangkan pigmen yang terikat pada kitin, sementara larutan H2C2O4 berfungsi untuk membersihkan sisa-sisa KMnO4 [31]. Hasil depigmentasi memperlihatkan telah terjadinya perubahan warna pada sampel dari cokelat menjadi putih kekuningan, seperti yang terlihat pada Gambar 3



a b c

Gambar 3. Hasil Ekstraksi Kitin. a) Demineralisasi, b) Deproteinasi c)Depigmentasi

Kitin yang diperoleh dari hasil ekstraksi sebanyak 22,32 gram dari bobot sampel total sebesar 150,89 gram selongsong maggot BSF sehingga diperoleh nilai rendemen sebesar 14,80%. Nilai rendemen kitin dalam selongsong maggot BSF ini lebih kecil daripada kandungan kitin dalam lalat dewasa BSF. Namun, lebih tinggi daripada kandungan kitin dalam larva BSF [32]. Kanto *et al.* [33] melaporkan lalat dewasa BSF mengandung kitin dengan rendemen sebesar 17,93%. Sementara itu, Wang & Shelomi [34] melaporkan larva BSF mengandung kitin dengan rendemen sebesar 2–5%. Sehingga bisa disimpulkan bahwa setiap fase pertumbuhan BSF mengandung kitin dengan kadar yang berbeda-beda. Kandungan kitin akan semakin bertambah seiring dengan pertumbuhan lalat serdadu hitam (*Hermetia illucens*)[32].

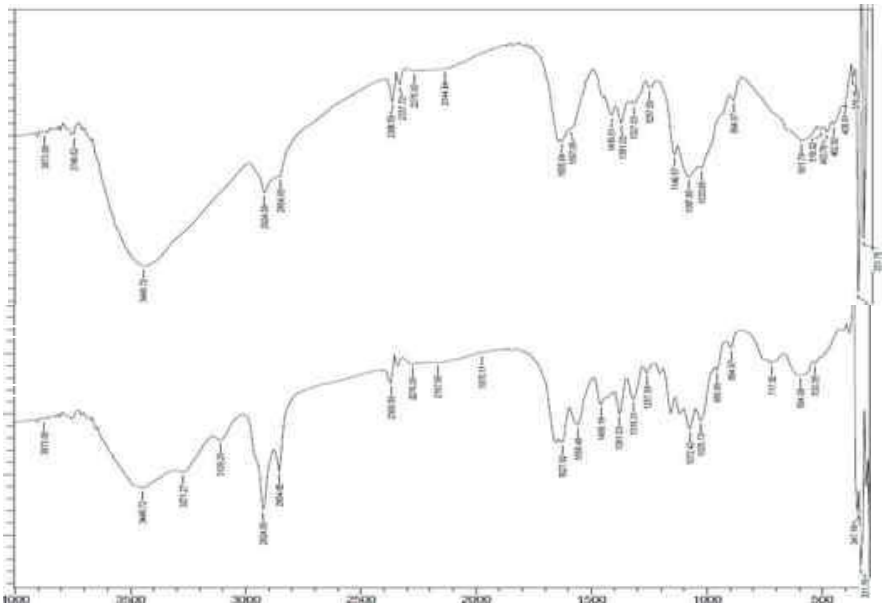
Kitin yang telah diekstraksi selanjutnya disintesis menjadi kitosan melalui deasetilasi dengan larutan NaOH 50% (b/v) [33]. Proses ini dimaksudkan guna melepaskan gugus asetil (-$COCH_3$) yang terikat pada atom nitrogen dari kitin [35]. Konsentrasi NaOH 50% (b/v) digunakan karena merupakan konsentrasi optimum untuk mentransformasikan gugus asetil, yang terikat pada atom nitrogen, menjadi gugus amina (NH2) [36]. Terjadinya transformasi gugus dapat diketahui dengan mengkomparasi spektrum kitin dengan hasil deasetilasinya pada bilangan gelombang tertentu yang terkarakteristik [37]. Kitosan yang dihasilkan dari proses deasetilasi kitin selongsong maggot BSF berupa serbuk halus berwarna putih kekuningan dengan nilai rendemen sebesar 12%.



Gambar 4. Kitosan Selongsong Maggot BSF

3.5.2. Karakterisasi FT-IR

Karakterisasi menggunakan spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) dimaksudkan guna mengetahui gugus fungsi yang terkandung pada sampel. Hasil analisis FTIR kitin dan kitosan berbasis selongsong maggot BSF (*Hermetia illucens*) adalah sebagai berikut:



Bilangan Gelombang (Cm^{-1})

Gambar 5. Spektrum FTIR Hubungan antara Bilangan Gelombang (cm^{-1}) terhadap Nilai Transmitansi (%). a) Kitosan dan b) Kitin.

Berdasarkan Gambar 5 diketahui terdapat perbedaan antara spektrum IR kitin dengan kitosan. Pada spektrum kitin diperoleh informasi pita serapan di daerah 1627,92 cm^{-1} merupakan *stretching* C=O dan serapan di daerah 1558,48 cm^{-1} merupkan *bending* NH pada gugus asetamida [38]. Kedua pita serapan ini khas pada senyawa kitin sehingga kemunculan kedua pita serapan tersebut mengindikasikan bahwa kitin telah terbentuk. Sementara itu, pada spektrum inframerah kitosan, didapati serapan pada bilangan gelombang 1635,64 cm^{-1} merupakan *stretching* C=O mengalami penurunan intensitas dari yang awalnya 18,973 menjadi 16,61. Begitu pula pita serapan di daerah 1597,06 cm^{-1} yang merupakan *bending* NH mengalami penurunan intensitas dari yang awalnya sebesar 21,153 menjadi 17,491. Hal ini mengindikasikan bahwa gugus NH amida sekunder pada struktur kitin berkurang karena lepasnya gugus asetil dan terbentuk gugus amina (NH2) pada struktur kitosan. Daari hasil Perhitungan pada Spektrum FT-IR, diperoleh derajat asetilasi sebesar 77,5% [39].

3.5.3. Pengaruh Pelapisan Kitosan sebagai Edible Coating

3.5.3.1. Karakeristik Fisik

Penelitian ini menggunakan tomat dengan kematangan rata yaitu 70 HST (Hari Setelah Tanam). Karakteristik fisik yang meliputi warna dan tekstur merupakan faktor yang mempengaruhi konsumen karena dapat dilakukan secara visual. Perubahan warna buah tomat sejak sebelum perlakuan sampai dengan 7 hari setelah perlakuan (HSP) ditunjukkan pada Tabel 6 Sementara itu, perubahan tekstur buah tomat sebelum perlakuan sampai dengan 7 hari setelah perlakuan (HSP) diperlihatkan pada Tabel 7

Table 6. Perubahan Warna dari Buah Tomat Selama proses Penyimpanan

Perlakuan	Perubahan-Warna dari Buah Tomat			
	0 HSP	3 HSP	5 HSP	7 HSP
Tanpa Pelapisan	*Light Red*	*Red*	Lewat masak	Lewat masak
Kitosan 1%	*Light Red*	*Red*	*Red*	Lewat masak
Kitosan 1,5%	*Light Red*	*Red*	*Red*	*Red*
Kitosan 2%	*Light Red*	*Red*	*Red*	*Red*

Keterangan: HSP (Hari Setelah Perlakuan)

Perlakuan penambahan kitosan 1%, 1,5%, dan 2% (b/v) mampu mempertahankan warna buah tomat pada kondisi *red*. Pada 7 HSP, tomat dengan perlakuan tanpa pelapisan menunjukkan semakin banyaknya kerutan dan bercak hitam yang muncul. Tomat dengan pelapisan kitosan 1% (b/v) juga telah mengalami perubahan warna menjadi lewat masak dan menunjukkan munculnya bercak hitam pada kulit buah yang menandakan telah terjadi pembusukan. Sementara itu, perlakuan pelapisan kitosan 1,5% dan 2% (b/v) masih dapat mempertahankan warna tomat yaitu *red*. Berdasarkan hasil pengamatan disimpulkan bahwa perlakuan pelapisan *edible coating* kitosan dengan konsentrasi 1,5% dan 2% (b/v) lebih baik dalam mempertahankan warna buah tomat dibandingkan dengan perlakuan pelapisan kitosan 1% (b/v) dan tanpa pelapisan.

Table 7. Perubahan Tekstur dari Buah Tomat Selama waktu Penyimpanan

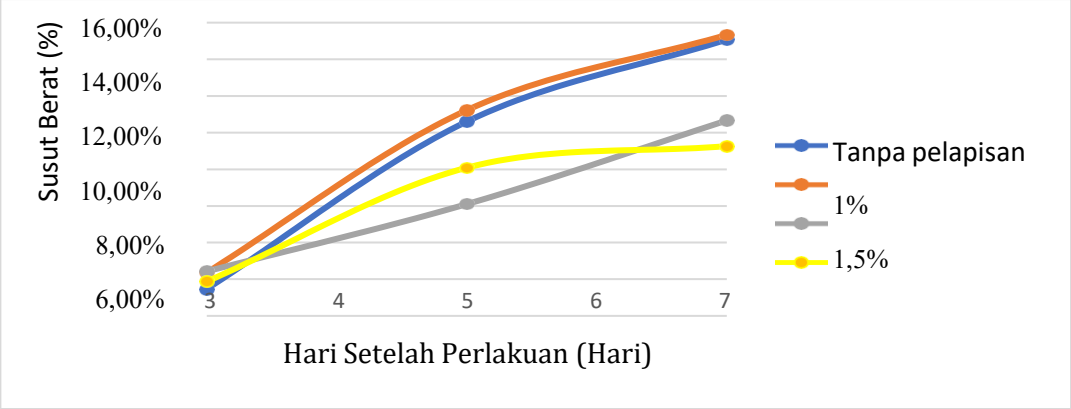
Perlakuan	Perubahan Struktur			
	0 HSP	3 HSP	5 HSP	7 HSP
Tanpa Pelapisan	Keras	Keras	Lembek	Lembek
Kitosan 1%	Keras	Keras	Sedang	Sedang
Kitosan 1,5%	Keras	Keras	Keras	Keras
Kitosan 2%	Keras	Keras	Keras	Keras

Keterangan: HSP (Hari Setelah Perlakuan)

Perlakuan pelapisan kitosan 1,5% dan 2% (b/v) mampu mempertahankan tekstur buah tomat pada kondisi keras. Pada 7 HSP, tomat dengan perlakuan tanpa pelapisan memiliki tekstur lembek, tomat dengan pelapisan kitosan 1% (b/v) tetap dalam tekstur sedang, dan pada perlakuan pelapisan kitosan 1,5% dan 2% (b/v) masih mampu mempertahankan tekstur buah tomat pada kondisi keras.

3.5.3.2. Susut Bobot

Pascapanen, buah akan mengalami penurunan bobot selama penyimpanan. Penurunan bobot disebabkan karena selama penyimpanan terjadi proses respirasi yang mentransformasi gula menjadi H_2O dan CO_2. Air kemudian dapat terlepas dari dalam buah dan menurunkan bobot buah tersebut [14]. Hasil pengujian susut bobot buah tomat dengan perlakuan pelapisan kitosan 1%, 1,5%, dan 2% (b/v) serta perlakuan tanpa pelapisan pada 3 sampai dengan 7 hari setelah perlakuan (HSP) diperlihatkan pada Gambar 6



Gambar 6. Grafik Pengaruh Konsentrasi Kitosan terhadap Susut Bobot Buah Tomat Selama 7 Hari Setelah Perlakuan (HSP)

Dari hasil analisis uji ANOVA, diketahui bahwa secara umum, terdapat perbedaan yang signifikan dari pengaruh jumlah/konsentrasi kitosan sebagai *edible coating* terhadap susut bobot buah tomat pada selang 7 HSP [39]. Berdasarkan analisis Uji Tukey HSD, diketahui tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara pelapisan kitosan 1% (b/v) dengan tanpa pelapisan kitosan pada susut bobot buah tomat selama 7 HSP, terdapat perbedaan yang signifikan antara pelapisan kitosan 1,5% (b/v) dengan tanpa pelapisan kitosan pada susut bobot buah tomat

selama 7 HSP, terdapat perbedaan yang signifikan antara pelapisan kitosan 2% (b/v) dengan tanpa pelapisan kitosan pada susut bobot buah tomat selama 7 HSP, terdapat perbedaan yang signifikan antara pelapisan kitosan 1% (b/v) dengan kitosan 1,5% (b/v) terhadap susut bobot buah tomat selama 7 HSP, terdapat perbedaan yang signifikan antara pelapisan kitosan 1% (b/v) dengan kitosan 2% (b/v) terhadap susut bobot buah tomat selama 7 HSP, dan terdapat perbedan yang signifikan antara pelapisan kitosan 1,5% (b/v) dengan kitosan 2% (b/v) terhadap susut bobot buah tomat selama 7 HSP. Nilai susut bobot terendah terjadi pada pelapisan buah tomat dengan kitosan 2% (b/v) sedangkan nilai susut bobot tertinggi terjadi pada perlakuan pelapisan buah tomat dengan kitosan 1% (b/v) yang tidak berbeda secara signifikan dengan perlakuan tanpa pelapisan kitosan.[29], [30]

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan terhadap siklus hidup *black soldier fly* (BSF) dan laju dekomposisi sampah organik oleh larva BSF, serta pemanfaatan slongsong untuk mensintesis kitosan menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Lama siklus hidup BSF pada setiap fase hidup yaitu telur (3-4 hari), larva (23 hari), prepupa (9 hari), pupa (7 hari) dan lalat/imago (3-9 hari). Berdasarkan laju dekomposisi sampah organik yang berbeda oleh larva BSF dengan 4 kali perlakuan dan 3 kali pengulangan, nilai rata-rata diperoleh sebesar 166,775 gram; 151,4 gram; 124,625 dan 98,525 gram.

2. Persentase tingkat keberhasilan hidup larva BSF pada sampah organik jenis sayuran, buah mangga, buah nanas, dan buah semangka masing-masing memiliki rata-rata 91,2%, 86,5%, 86%, dan 61,5%.

3. Nilai rendemen kitin yang terkandung dalam selongsong maggot BSF (*Hermetia illucens*) adalah sebesar 14,80%, sedangkan nilai rendemen kitosan sebesar 12%. Nilai derajat deasetilasi (DD) kitosan yang disintesis dari kitin berbasis selongsong maggot BSF (*Hermetia illucens*) adalah sebesar 75,05%.

4. Pelapisan kitosan berbasis selongsong maggot BSF (*Hermetia illucens*) berpengaruh secara signifikan terhadap susut bobot buah tomat selama 7 hari setelah perlakuan dengan konsentrasi terbaik adalah pada konsentrasi 2%. Namun, pelapisan kitosan berbasis selongsong maggot (BSF) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan kadar vitamin C buah tomat selama 7 hari setelah perlakuan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Pimpinan Fakultas Kedokteran Unmul yang telah memberi ijin untuk studi lanjut pada Program Doktor Ilmu Lingkungan, Kepada Ketua dan Staf Laboratorium Fisiologi hewan dan Laboratorium Kimia Organik FMIPA Unmul yang telah memfasilitasi tempat penelitian ini dan kepada Kemendikti Saintek Melalui Dana Hibah BIMA Skema Penelitian Disertasi Doktor (PDD) Tahun 2026/2027 yang telah mendanai penelitian ini

Pernyataan

Penelitian ini bagian dari Penelitian Disertasi pada Program Doktor Ilmu Lingkungan yang dimbing oleh Promotor, Co Promotor dan Penguji sebagai autor yang telah banyak memberi bimbingan dan masukan pada penulisan artikel ini. Penelitian ini di danai oleh Kemendikti saintek melaui Dana Hibah BIMA, skema Penelitian Disertasi Doktor dengan No Kontrak: 238/C3/DT.05.00/PL-BARU/2026 dan kontrak turunan No: 629/DST/UN17.L1/PT.00.03/2026.

References

[1] R. Suciati and H. Faruq, "Efektifitas Media Pertumbuhan Maggots Hermetia Illucents (Lalat Tentara Hitam) Sebagai Solusi Pemanfaatan Sampah Organik," *Biosfer: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, vol. 2, no. 1, pp. 8–13, 2017.

[2] P. N. Palupi, "Karakter Kimia Kompos Dengan Dekomposer Mikroorgaisme Lokal Asal Limbah Sayuran," *Jurnal Ziraa'Ah*, vol. 40, no. 1, 2015.

[3] L. Monita, S. H. Sutjahjo, A. A. Amin, and M. R. Fahmi, "Pengolahan Sampah Organik Perkotaan Menggunakan Larva Black Soldier Fly (Hermetia illucens)," *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, vol. 7, no. 3, pp. 227–234, 2017.

[4] F. A. Katayane, B. Bagau, F. R. Wolayan, and M. R. Imbar, "Produksi dan Kandungan Protein Maggot (Hermetia illucens) Dengan Menggunakan Media Tumbuh Berbeda," *Jurnal Zootek*, vol. 34, pp. 27–36, 2014.

[5] R. Popa and T. Green, *Biology and Ecology of the Black Soldier Fly*. Amsterdam, The Netherlands: DipTerra LCC e-Book, 2012.

[6] D. Rachmawati, P. Buchori, S. H. Hidayat, and M. R. Fahmi, "Perkembangan Dan Kandungan Nutrisi Larva Hermetia Illucens (Linnaeus) (Diptera: Stratiomydae) Pada Bungkil Kelapa Sawit," *Jurnal Entomologi Indonesia*, vol. 7, no. 1, pp. 28–41, 2010.

[7] S. A. Siddiqui, L. van Greunen, A. Zeiri, B. Yudhistira, A. Ahmad, and M. Monnye, "The Potential of Chitin and Chitosan from Dead Black Soldier Fly (BSF) (Hermetia illucens) for Biodegradable Packaging Material – A Critical Review," *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 189, pp. 1342–1367, 2024, doi: 10.1016/j.psep.2024.06.108.

[8] S. M. Abdul-Rahman and A. F. Abass, "Preparation of Edible Films Made from Chitosan with Pomegranate Peel Extract and Study Its Barrier, Mechanical and Antioxidant Properties," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 761, no. 1, Art. no. 012122, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/761/1/012122.

[9] P. S. Bhavsar, G. Dalla Fontana, and M. Zoccola, "Sustainable Superheated Water Hydrolysis of Black Soldier Fly Exuviae for Chitin Extraction and Use of the Obtained Chitosan in the Textile Field," *ACS Omega*, vol. 6, no. 13, pp. 8884–8893, 2021, doi: 10.1021/acsomega.0c06040.

[10] M. Kaczor, P. Bulak, K. Proc-Pietrycha, M. Kirichenko-Babko, and A. Bieganowski, "The Variety of Applications of Hermetia illucens in Industrial and Agricultural Areas—Review," *Biology*, vol. 12, no. 1, p. 25, 2023.

[11] T. Hahn *et al.*, "Chitosan Application in Textile Processing and Fabric Coating," in *Chitin and Chitosan*, 2019, pp. 395–428.

[12] L. X. Huang, L. Yang, and Guang, "Chitosan Application in Textile Processing," *Current Trends in Fashion Technology & Textile Engineering*, vol. 4, no. 2, 2018, doi: 10.19080/ctftte.2018.04.555635.

[13] M. Novita, Satriana, Martunis, S. Rohaya, and E. Hasmarita, "Pengaruh Pelapisan Kitosan Terhadap Sifat Fisik dan Kimia Tomat Segar (Lycopersicum pyriforme) pada Berbagai Tingkat Kematangan," *Jurnal Teknologi dan Pertanian Indonesia*, vol. 4, no. 3, pp. 1–8, 2012.

[14] R. Fernando, K. K. Terip, and L. Zulkifli, "Pengaruh Konsentrasi Kitosan Sebagai Edible Coating dan Lama Penyimpanan Terhadap Mutu Buah Jambu Biji Merah," *Jurnal Rekayasa Pangan dan Pertanian*, vol. 2, no. 1, pp. 37–46, 2014.

[15] Hilma, A. Fatoni, and D. P. Sari, "Potensi Kitosan Sebagai Edible Coating pada Buah Anggur Hijau (Vitis vinifera Linn)," *Jurnal Penelitian Sains*, vol. 20, no. 1, pp. 25–29, 2018.

[16] I. Aranaz *et al.*, "Chitosan: An Overview of Its Properties and Applications," *Polymers (Basel)*, vol. 13, no. 19, 2021, doi: 10.3390/polym13193256.

[17] T. Budiati, W. Suryaningsih, A. Wahyono, and S. O. N. Yudiastuti, "Characterization of Chitosan Nanoparticles Extracted from Maggot Shell and Paddy Snail Waste using The Ionic Gelation Method," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1338, no. 1, Art. no. 012052, 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1338/1/012052.

[18] R. Chawla, S. Sivakumar, and H. Kaur, "Antimicrobial Edible Films in Food Packaging: Current Scenario and Recent Nanotechnological Advancements- A Review," *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, vol. 2, 2021, doi: 10.1016/j.carpta.2020.100024.

[19] S. Diener, C. Zurbrugg, and K. Tockner, "Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates," *Waste Management & Research*, vol. 27, no. 6, pp. 603–610, 2009.

[20] A. P. Bayuseno, "Penerapan dan Pengujian Teknologi Anaerob Digester Untuk Pengolahan Sampah Buah-buahan dari Pasar Tradisional," *Jurnal Rotasi*, vol. 11, no. 2, pp. 5–12, 2009.

[21] A. R. Hakim, A. Prasetya, and P. Himawan, "Studi Laju Umpan Pada Proses Biokonversi Limbah Pengolahan Tuna menggunakan Larva Hermetia illucens," *JPB Kelautan dan Perikanan*, vol. 12, no. 2, pp. 179–192, 2017.

[22] D. Y. Rofi, S. W. Auvaria, S. Nengse, S. Oktorina, and Yusrianti, "Modifikasi Pakan Larva Black Soldier Fly (Hermetia illucens) sebagai Upaya Percepatan Reduksi Sampah Buah dan Sayuran," *Jurnal Teknologi Lingkungan*, vol. 22, no. 1, pp. 130–137, 2020.

[23] E. S. Saragi and A. Y. Bagastyo, "Reduction of organic solid waste by black soldier fly (Hermetia illucens) larvae," in *Proc. Environmental Technology and Management Conference*, Bandung, Indonesia, 2015.

[24] F. A. Nugraha, "Analisis Laju Penguraian Dan Hasil Kompos Pada Pengolahan Sampah Sayur Dengan Larva Black Soldier Fly (Hermetia Illucens)," *Skripsi*, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, 2019.

[25] D. Silmina, G. Edriani, and M. Putri, "*Efektivitas Berbagai Media Budidaya Terhadap Pertumbuhan Maggot Hermetia illucens*," Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia, 2011.

[26] D. Alemu, E. Getachew, and A. K. Mondal, "Study on the Physicochemical Properties of Chitosan and their Applications in the Biomedical Sector," *International Journal of Polymer Science*, vol. 2023, no. 1, Art. no. 5025341, 2023.

[27] D. S. d. l. Mora-López, T. J. Madera-Santana, J. López-Cervantes, D. I. Sánchez-Machado, J. F. Ayala-Zavala, and H. Soto-Valdez, "Development and Characterization of Chitosan-Collagen Films Loaded with Honey," *Polímeros*, vol. 33, no. 3, 2023, doi: 10.1590/0104-1428.20230031.

[28] R. A. I. Reshad, T. A. Jishan, and N. N. Chowdhury, "Chitosan and its Broad Applications: A Brief Review," *Journal of Clinical and Experimental Investigations*, vol. 12, no. 4, 2021, doi: 10.29333/jcei/11268.

[29] H. Abral *et al.*, "Antimicrobial Edible Film Prepared from Bacterial Cellulose Nanofibers/Starch/Chitosan for a Food Packaging Alternative," *International Journal of Polymer Science*, vol. 2021, pp. 1–11, 2021, doi: 10.1155/2021/6641284.

[30] R. Elsabagh *et al.*, "Chitosan Edible Coating: A Potential Control of Toxic Biogenic Amines and Enhancing The Quality and Shelf Life of Chilled Tuna Filets," *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 7, 2023, doi: 10.3389/fsufs.2023.1177010.

[31] S. Wahyuni, R. Selvina, R. Fauziyah, H. T. Prakoso, Priyono, and Siswanto, "Optimasi Suhu dan Waktu Deasetilasi Kitin Berbasis Selongsong Maggot (Hermetia illucens) Menjadi Kitosan," *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, vol. 25, no. 3, pp. 373–381, 2020.

[32] S. S. Santi, A. P. K. Hariyanto, and M. D. Hartono, "Synthesis of Edible Film from Crab Shell Chitosan and Banana Peel Starch," *Nusantara Science and Technology Proceedings*, pp. 158–164, 2020, doi: 10.11594/nstp.2020.0524.

[33] D. A. R. Kanto, A. D. Permana, and R. Hertadi, "Extraction and Characterization of Chitin and Kitosan from Black Soldier Fly (Hermetia illucens)," *Jurnal Ilmiah Farmako Bahari*, vol. 10, no. 1, pp. 23–32, 2019.

[34] Y. S. Wang and A. Shelomi, "Review of Black Soldier Fly (Hermetia illucens) as Animal Feed and Human Food," *Foods*, vol. 6, no. 91, pp. 1–23, 2017.

[35] Z. Shakoori, E. Salaseh, A. R. Mehrabian, D. M. Tehrani, N. F. Dardashti, and F. Salmanpour, "The Amount of Antioxidants in Honey has A Strong Relationship with The Plants Selected by Honey Bees," *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, Art. no. 351, 2024, doi: 10.1038/s41598-023-51099-9.

[36] R. Sulaeman, R. R. Z. D. W. Putri, R. Damayanti, F. Fauzan, M. R. Hadiyan, and Y. Maharani, "Characterization of Eco-Friendly Straw Based on Chitosan from Pupae Exuviae of Black Soldier Fly (Hermetia illucens)," *AgriHealth: Journal of Agri-food, Nutrition and Public Health*, vol. 5, no. 2, 2024, doi: 10.20961/agrihealth.v5i2.86274.

[37] L. Suriati, I. G. Pasek Mangku, G. A. S. Widya Krisnawati, and A. A. Ngurah Surya Girindra, "The Impact of Chitosan at the Physical Performance of the Coffee Skin-Based Edible Film," *Journal of Agriculture and Crops*, no. 92, pp. 156–163, 2023, doi: 10.32861/jac.92.156.163.

[38] P.-A. Popescu *et al.*, "Chitosan-Based Edible Coatings Containing Essential Oils to Preserve the Shelf Life and Postharvest Quality Parameters of Organic Strawberries and Apples during Cold Storage," *Foods*, vol. 11, no. 21, p. 3317, 2022.

[39] K. P. Sree, M. S. Sree, P. Supriya, and Samreen, "Application of Chitosan Edible Coating for Preservation of Tomato," *International Journal of Chemical Studies*, vol. 8, no. 4, pp. 3281–3285, 2020, doi: 10.22271/chemi.2020.v8.i4ao.10157.