

PENINGKATAN PERTUMBUHAN DAN EFISIENSI PAKAN LARVA *BLACK SOLDIER FLY* DENGAN PENAMBAHAN BAHAN EM4 DAN MOLASE

Lilik Pujantoro Nugroho¹ dan Saut Imanuel²

¹ Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University. Dramaga-Bogor, Indonesia.

² Mahasiswa Pendidikan Sarjana Dep. Teknik Mesin dan Biosistem, IPB University. Dramaga-Bogor, Indonesia.

Abstrak. Pengelolaan sampah yang modern dan tepat guna dapat meningkatkan waktu penguraian sampah yang dihasilkan oleh pasar tradisional. Penelitian ini bertujuan untuk memanipulasi karakteristik larva dengan pakan sampah organik pasar tradisional dengan pemberian *feeding rate* 80%. Nilai *waste reduction index* (WRI) dalam penelitian antara 5,23 %/hari - 5,25 %/hari. Nilai *Feed Conversion Ratio* (FCR) dalam penelitian berkisar antara 9,95%- 10,40%. Persentase *efficiency of conversion of digested Feed* (ECD) penelitian bernilai antara 10,17%-10,68%, serta tingkat kelangsungan hidup larva berkisar 81%-92%. Hasil pengamatan melalui uji ANOVA dan DMRT mendapatkan bahwa pemberian EM4 dan molase berbeda nyata ($\alpha > 5\%$) pada pertumbuhan bobot dan panjang larva BSF. Berat akhir larva BSF perlakuan 1 sebesar 11,55 gram, perlakuan 2 sebesar 12,99 gram, perlakuan 3 14,69 sebesar gram, dan perlakuan 4 sebesar 15,46 gram. Panjang akhir larva BSF perlakuan 1 sebesar 16,67 mm, perlakuan 2 sebesar 18,10 mm, perlakuan 3 sebesar 20,13 mm, dan perlakuan 4 sebesar 19,27 mm. Pertumbuhan larva terkecil terdapat pada perlakuan kontrol dan penambahan EM4, sedangkan penambahan molase dan kombinasi kedua mendapatkan pertumbuhan larva yang terbaik.

Kata kunci: dekomposisi, EM4, larva, molase, sampah.

1. Latar Belakang

Pasar merupakan fasilitas berdagang bagi penjual, dan fasilitas membeli bagi konsumen. Pasar tradisional memiliki peran penting dalam memajukan perekonomian suatu negara. Hal ini dikarenakan pasar merupakan tempat penyaluran barang yang diproduksi produsen. Pasar telah menjadi sarana bagi produsen untuk menjual produk. Pasar di Indonesia dibedakan menjadi pasar tradisional dan pasar modern. Kedua Pasar dibedakan dari pola transaksi jual-beli, fasilitas umum dan sistem pengelolaan pasar. Pasar tradisional merupakan tempat terjadinya transaksi secara langsung oleh penjual dan pembeli. Pasar tradisional umumnya menjual berbagai kebutuhan sehari-hari, seperti bahan pangan berupa sembako, daging, ikan, buah, sayuran, telur, serta barang-barang lain seperti kain, pakaian, dan bahkan elektronik.

Pasar adalah tempat terjadinya transaksi jual beli nasional yang ada di suatu negara. Aktivitas jual beli menjadi penyebab terjadinya timbunan sampah yang cukup besar setiap hari. Timbunan sampah akan menjadi masalah utama terjadinya penumpukan di Tempat Pembuangan Sementara (TPS). Sampah yang sudah menumpuk pada TPS mengakibatkan akan semakin tertumpuknya sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Keadaan seperti ini menyebabkan

lahan tempat pembuangan sampah akan cepat penuh dan kurang efektif untuk jangka panjang, Ketersediaan lahan pembuangan sampah di Indonesia juga semakin menipis dikarenakan banyaknya sampah dari negara lain yang di impor ke Indonesia. Hal ini mengakibatkan penumpukkan sampah pada TPS dikarenakan menipisnya lahan pada TPA.

Menurut Jana *et al.* (2006), potensi terbesar terjadinya penimbunan sampah berada pada pasar tradisional. Jenis sampah yang dihasilkan pasar tradisional sebagian besar meliputi produk hortikultura, plastik, kain, dan logam. Sampah hortikultura pada pasar biasanya seperti sayur mayur dan buah yang sifatnya mudah rusak (*perishable*), hal ini menyebabkan tingginya risiko produk mengalami kerusakan baik saat diangkut oleh pemasok sampai ke tangan pedagang di pasar maupun saat produk berada di pasar sebelum laku terjual. Selain itu, produk ini juga rentan mengalami kemunduran jika tersimpan dalam waktu yang cukup lama. Beberapa perlakuan harus dilakukan sebelum sayur dan buah ini dapat dijual. Tahapan termasuk penyortiran dan pembersihan produk dari bagian yang rusak, layu atau busuk yang bertujuan untuk meningkatkan nilai jual produk. Sampah yang tidak mudah terurai harus dipilah dengan sampah hortikultura (*organik*). Pemilahan sampah sangat penting karena selain memudahkan dalam proses manajemen persampahan, juga dapat menghindari sampah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) bercampur dengan sampah lain dan mengakibatkan senyawa kimia yang terkandung di dalam sampah B3 akan bercampur dan mencemari lingkungan. Dampak akibat terjadinya pencemaran sangat beragam, seperti dapat menyebabkan infeksi virus, penyakit, rusaknya lingkungan, dan hilangnya keseimbangan ekosistem. Sehingga diperlukan pengetahuan untuk mengetahui jenis-jenis sampah sebelum mengelolanya. Sampah diklasifikasi menjadi tiga, antara lain sampah organik, anorganik, serta B3. Berdasarkan dengan Peraturan Pemerintah Nomor 74 Tahun 2001, limbah B3 perlu dikelola sesuai dengan peraturan yang telah ada sehingga dapat dilakukan secara sistematis dan berkelanjutan.



Gambar 1 TPS Pasar Tradisional Ciracas

Menurut Marlina *et al.* (2011), limbah pasar tradisional biasanya merupakan bahan organik berupa sisa sayuran, buah, nasi, dan lain-lain yang sudah busuk atau tidak layak jual. Limbah pasar yang sudah membusuk dan tidak layak jual dapat mengandung berbagai macam mikroba seperti protozoa, fungi, bakteri, dan virus. Diperlukan pengelolaan limbah yang baik untuk dapat mengurangi adanya mikroba yang berbahaya pada pasar. Pengelolaan limbah yang modern, tepat, cepat dan dapat menguntungkan secara ekonomi akan menjadi alternatif yang memiliki potensi yang cukup besar untuk pengelolaan limbah pasar tradisional. Dengan

pengelolaan yang benar, limbah basah pada pasar tradisional akan memiliki nilai ekonomis dan mengurangi pencemaran pada lingkungan dan ekosistem pasar. Larva *Black Soldier Fly* (BSF) dapat berkembang di berbagai macam jenis limbah organik serta dapat menghasilkan konversi limbah organik yang efisien dan cepat, menjadi biomassa berprotein tinggi (40% dari berat kering) dan berlemak tinggi (30% dari berat kering) (Newton *et al.* 2005). Hal ini membuat larva BSF sangat cocok sebagai pakan hewan dan residunya dapat dimanfaatkan menjadi pupuk tanaman (Sheppard *et al.* 1994).

Sampah organik pada tumbuhan biasanya memiliki lignin sebagai alat pelindung dari serangan mikroorganisme, patogen dan jamur, sehingga lignin mampu mengeraskan mikrofibril selulosa dan secara kovalen terikat dengan hemiselulosa (Vattamparambil. 2012). Lignin mengikat selulosa dan hemiselulosa secara fisik dan kimia, oleh karena itu lignin dapat menghalangi kerja enzim selulase dan hemiselulase pada substrat (Meryandini *et al.* 2009). Keberadaan lignin dapat menghalangi atau memperlambat akses enzim, yang menyebabkan substrat menjadi sulit terdegradasi (Samsuri *et al.* 2007). Menurut Kim *et al.* (2011) Larva BSF tidak memiliki enzim pendegradasi lignin di dalam ususnya, sehingga substrat dengan kandungan lignoselulosa yang tinggi akan sulit dicerna oleh larva. Oleh karena itu, tingginya kandungan lignin pada sampah organik dapat diatasi melalui fermentasi menggunakan *Effective Microorganism-4* (EM4). Penelitian Binta *et al.* (2013), menyatakan bahwa EM4 mengandung bakteri *fotosintetik*, *Lactobacillus sp*, *Streptomyces sp*, *actinomyces*, dan ragi yang memiliki kemampuan untuk mendegradasi serta memecah ikatan lignin dan selulosa. Penggunaan EM4 juga dianggap praktis karena mudah dan murah diperoleh dan tidak sulit diaplikasikan. Penambahan molase pada proses dekomposisi larva BSF juga dapat mempercepat pendegradasian sampah organik. Penelitian Nurhilal O dan Suryaningsih S (2018), menyatakan bahwa molase mengandung 3,1% protein kasar, 60% serat kasar, 0,9% lemak kasar, dan 11,9% abu serta kadar air dalam cairan molase sebesar 15-25%. Kandungan molase tersebut dapat memberikan nutrisi yang baik kepada larva BSF.

Pengelolaan yang modern, tepat dan cepat adalah dengan memanfaatkan larva BSF sebagai pengurai materi organik pada limbah basah di pasar tradisional. BSF telah diteliti dapat menguraikan sampah organik dengan memanfaatkan larvanya yang mengekstrak energi dan nutrisi dari sampah sayuran, sisa makanan, bangkai hewan, dan kotoran sebagai bahan makanannya (Popa dan Green 2012). Larva BSF mudah untuk dikembangbiakkan dengan sifatnya yang resisten terhadap musim, dan sangat cocok dengan iklim Indonesia, karena larva BSF lebih aktif pada kondisi hangat. Penelitian ini penting dilakukan untuk mengoptimalkan proses dekomposisi serta meningkatkan pertumbuhan larva BSF melalui peningkatan perkembangan larva sehingga dapat mempercepat proses dekomposisi sampah organik yang dihasilkan oleh pasar tradisional. Penggunaan metode ini diharapkan sampah pasar tradisional dapat ditangani dengan baik dan secara alami menggunakan larva BSF sebagai pengurai.

1.1 Rumusan Masalah

Penumpukan sampah terjadi karena volume sampah yang melebihi kapasitas daya tampung Tempat Pembuangan Akhir (TPA), sehingga terjadinya penumpukan sampah di Tempat Pembuangan Sementara (TPS). Pemanfaatan teknologi penanganan yang potensial yang ramah lingkungan, murah dan sederhana, di mana salah satunya adalah dengan memanfaatkan larva BSF sebagai pengurai yang baik, sehingga dapat mereduksi atau bahkan meniadakan pengangkutan sampah pada pasar tradisional, sehingga menghindari penumpukan

sampah di TPS dan TPA. Penambahan EM4 dan molase diharapkan dapat meningkatkan potensi dari larva BSF dalam perkembangan dan penguraian sampah organik. Hasil dari dekomposisi dengan larva BSF dapat digunakan oleh warga sekitar sebagai pupuk pada budidaya kecil atau pakan ternak.

1.2 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Menemukan nilai toleransi perubahan suhu ruangan, suhu pakan dan pH pakan oleh larva BSF selama masa pemeliharaan.
- b. Menemukan perlakuan penambahan terbaik meliputi EM4, molase dan kombinasi keduanya pada sampah pasar sebagai pakan larva BSF untuk meningkatkan pertumbuhan dan menurunkan tingkat kematian larva.

1.3 Manfaat

Sebagian besar sampah pasar masih dikirim ke TPA. Hal ini memakan tenaga dan biaya transportasi yang cukup besar. Penumpukkan sampah yang besar terjadi pada TPS dikarenakan penuhnya TPA. Hal ini menyebabkan terjadinya pencampuran sampah organik dengan sampah anorganik lainnya yang dapat mengontaminasi sampah. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi suatu alternatif untuk mengurangi penumpukkan limbah organik pada pasar tradisional, dengan memanfaatkan penggunaan larva lalat BSF sebagai dekomposer guna mereduksi limbah organik pada pasar tradisional. Dengan penambahan EM4, molase, serta pemberian *feeding rate* 80% pada larva BSF, dapat meningkatkan laju reduksi limbah organik dan juga meningkatkan perkembangan larva guna mengoptimalkan berat dan ukuran sebagai pakan ternak.

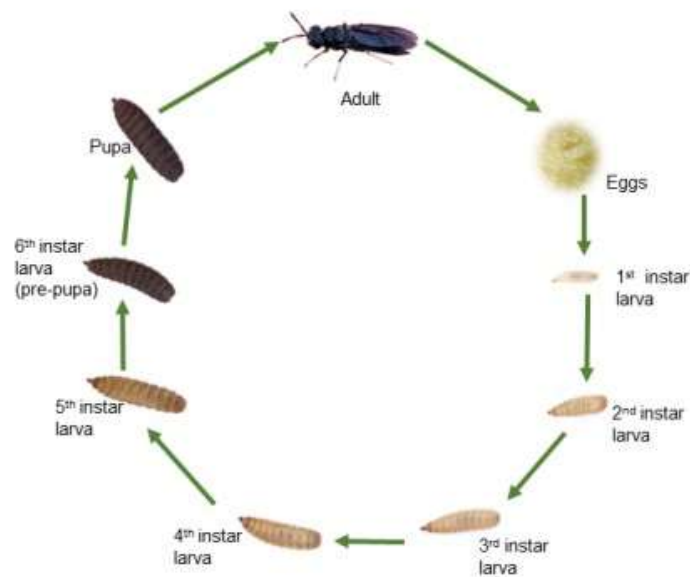
II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Black Soldier Fly* (BSF)

Larva *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) adalah maggot yang dihasilkan dari lalat BSF, larva BSF dapat mengubah kotoran ternak menjadi pupuk (Lalander *et al.* 2019). Larva BSF dapat mengolah limbah organik menjadi pupuk yang berpotensi untuk meningkatkan nilai tambah pada sampah organik yang sudah tidak digunakan dan meningkatkan perekonomian bagi pengelola limbah (Lohri *et al.* 2017). Suhu optimum larva BSF untuk hidup berkisar antara 27-37°C dengan kelembaban relatif 60% (Sigh dan Kumari 2019). Pada wilayah yang dingin, produktifitas BSF akan menurun. Produktifitas BSF akan sangat efektif pada suhu 27°C baik untuk betina maupun jantan (Tomberlin *et al.* 2009). Larva BSF dapat mengurangi populasi lalat rumah sehingga dapat mengurangi penyebaran penyakit oleh lalat lain. Larva BSF juga dapat mereduksi kontaminasi limbah terhadap bakteri patogenik *Escherichia coli* (Newton *et al.* 2005).

Larva BSF mengalami lima fase instar. Perbedaan pada fase instar ini dapat dilihat dari perubahan warna kulit. Fase instar 1 atau tahap bayi (hari 0-3), larva baru menetas dengan ukuran kecil, transparan, rentan, dan akan mulai mencari makanan serta mengalami pertumbuhan yang cepat. Fase instar 2-4 atau tahap muda (hari ke 5-15), larva memasuki fase pertumbuhan aktif, di mana mereka menjadi lebih besar, berwarna lebih gelap, dan sangat efisien dalam

mengonsumsi makanan. Memasuki tahap instar akhir atau dewasa (hari ke 15-18), larva bersiap untuk metamorfosis dengan berhenti makan dan mencari tempat yang cocok untuk berpupa, memulai proses transformasi menjadi serangga dewasa. Setiap fase dapat ditambahi dengan banyak makanan yang diperlukan untuk perkembangan. Larva yang masih bayi memiliki kecenderungan makan sedikit, sedangkan pada fase muda, larva akan berada dalam fase tinggi nafsu makan. Pada larva dewasa, nafsu makan larva akan menurun hingga tidak akan mengonsumsi makanan lagi sampai tahap prepupa (Diener *et al.* 2011).



Gambar 2 Siklus lalat BSF

2.2 *Effective Microorganisms-4 (EM4)*

Effective Microorganisms-4 (EM4) merupakan campuran dari berbagai jenis mikroorganisme yang difermentasikan. EM4 dibagi atas 3 jenis sesuai dengan kegunaannya, yaitu EM4 pertanian yang berguna sebagai kesuburan tanah, meningkatkan kualitas kompos, dan pengurai alami limbah organik. EM4 peternakan sebagai aditif pakan untuk meningkatkan nafsu makan ternak dan probiotik alami pada hewan ternak. EM4 perikanan untuk menjaga kualitas air dan mencegah penyakit pada ikan. EM4 peternakan yang merujuk pada campuran mikroorganisme yang bermanfaat bagi kesehatan hewan. EM4 peternakan terdiri dari berbagai jenis bakteri, ragi, dan mikroorganisme lainnya yang diaplikasikan sebagai inokulan untuk meningkatkan keanekaragaman dan populasi mikroorganisme pada sampah yang dapat meningkatkan stimulan dan kesehatan hewan (EM4 Peternakan), mengurangi bau (Siswati *et al.* 2009).

2.3 Molase

Molase merupakan produk samping yang diperoleh dari industri pengolahan gula dalam bentuk cair yang mengandung sukrosa dan sejumlah kecil monosakarida fruktosa dan glukosa. Molase memiliki kandungan protein kasar 3,1%; serat kasar 60%; lemak kasar 0,9%; dan abu 11,9% serta kadar air dalam cairan molase sebesar 15-25% (Nurhilal dan Suryaningsih 2018).

Menurut penelitian Wardani dan Pertiwi (2013) Total gula dalam molase berkisar antara 50,23%-54,6%. Molase digunakan sebagai nutrisi tambahan pada larva BSF.

2.4 Dekomposisi

Dekomposisi merupakan proses penguraian yang dilakukan dengan bantuan mikroorganisme pengurai untuk mempercepat waktu pengomposan. Mikroorganisme tersebut disebut dekomposer. Dekomposer yang digunakan bermacam-macam terdiri dari mikroorganisme pengurai, cacing, jamur ataupun larva serangga. Dekomposer merupakan aktivator pada suatu proses pengomposan bahan organik kompleks agar menjadi bahan organik yang lebih sederhana sehingga menghasilkan mineral-mineral yang dibutuhkan oleh tanaman atau organisme lainnya (Palupi 2015). Proses pengomposan secara alami membutuhkan waktu lama untuk membuat kompos dari bahan organik. Dengan memanfaatkan larva BSF, maka pengomposan akan lebih cepat dan efisien. Pengomposan dengan memanfaatkan larva BSF sebagai dekomposer memiliki keamanan yang baik. Jaminan keamanan larva BSF dalam mengolah limbah organik ditunjukkan oleh penelitian Lalander *et al.* (2013), penelitian mereka menghasilkan hasil yaitu larva yang dipelihara pada media feses manusia terbukti mampu menurunkan populasi *Salmonella spp.* Larva juga mampu menekan *Escherichia coli* dan *Salmonella enterica serovar Enteritidis* pada kotoran unggas (Erickson *et al.* 2004).

III METODE

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan 17 September 2024 sampai 20 Oktober 2024 di Pasar Ciracas.

3.2 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah basah pasar meliputi buah papaya, sayur sawi serta jeroan ayam dengan persentase pemberian 40:40:20 dengan *feeding rate* larva 80 % yang diberikan tiap 3 hari sekali, EM4, molase, dan 1200 ekor larva muda BSF. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu wadah biokompos volume 1000 cm³ (12,5 cmx7 cm), kain kasa berdiameter pori 1 mm, timbangan analitik digital dengan ketelitian 0.01 g, termometer, pH meter, pipet tetes, pinset, dan milimeter block.

3.3 Prosedur dan Analisis Data

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang bertujuan untuk menguji kemampuan larva BSF dalam mereduksi sampah organik dari Pasar Ciracas. Penelitian ini menggunakan perlakuan berupa penambahan EM4 dan molase, serta kontrol sebagai pembanding. Penelitian eksperimen bertujuan untuk mengidentifikasi adanya hubungan sebab akibat dengan membandingkan satu atau lebih kelompok eksperimen yang menerima perlakuan dengan kelompok pembanding yang tidak menerima perlakuan. Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 perlakuan dan 3 perlakuan.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan empat perlakuan substrat dengan masing-masing tiga perulangan. Perulangan dilakukan untuk menentukan nilai yang mewakili dari penelitian. Perlakuan satu (P1) sampah organik pasar sebagai kontrol. Perlakuan dua (P2) sampah organik yang ditambah menggunakan EM4 5 %. Perlakuan tiga (P3) sampah organik yang ditambah dengan molase 10%. Perlakuan empat (P4) sampah organik yang ditambah dengan campuran EM4 5 % dan molase 10 %.

Tabel 1 Rancangan perlakuan penelitian

No	Pengukuran	Perlakuan (<i>Feeding rate</i> 80 %)			
		Kontrol	EM4 5%	Molase 10%	EMS 5% + Molase 10%
1	pH	Hari ke 0-18	Hari ke 0-18	Hari ke 0-18	Hari ke 0-18
2	Suhu wadah	Hari ke 0-18 (setiap hari)	Hari ke 0-18 (setiap hari)	Hari ke 0-18 (setiap hari)	Hari ke 0-18 (setiap hari)
3	Suhu sampah	Hari ke 0-18 (setiap hari)	Hari ke 0-18 (setiap hari)	Hari ke 0-18 (setiap hari)	Hari ke 0-18 (setiap hari)
4	Panjang larva	Hari ke 0-18 (setiap 3 hari)	Hari ke 0-18 (setiap 3 hari)	Hari ke 0-18 (setiap 3 hari)	Hari ke 0-18 (setiap 3 hari)
5	Berat larva	Hari ke 0-18 (setiap 3 hari)	Hari ke 0-18 (setiap 3 hari)	Hari ke 0-18 (setiap 3 hari)	Hari ke 0-18 (setiap 3 hari)
7	WRI	Hari ke 0 dan hari ke 18	Hari ke 0 dan hari ke 18	Hari ke 0 dan hari ke 18	Hari ke 0 dan hari ke 18
8	ECD	Hari ke 0 dan hari ke 18	Hari ke 0 dan hari ke 18	Hari ke 0 dan hari ke 18	Hari ke 0 dan hari ke 18
8	FCR	Hari ke 0 dan hari ke 18	Hari ke 0 dan hari ke 18	Hari ke 0 dan hari ke 18	Hari ke 0 dan hari ke 18
9	SR	Hari ke 0 dan hari ke 18	Hari ke 0 dan hari ke 18	Hari ke 0 dan hari ke 18	Hari ke 0 dan hari ke 18

3.3.1 Persiapan Sampah Organik

Persiapan dimulai dengan mengambil sampah organik di Pasar Ciracas, kemudian dibersihkan dari bahan kimia dan sampah anorganik yang menyangkut. Sampah organik yang dipakai pada penelitian ini berupa sisa-sisa sayur, buah dan daging yang ada di pasar tradisional. Sampah akan dicacah agar lebih mengoptimalkan dekomposisi larva BSF. Larva akan diberikan pakan dengan *feeding rate* 80% berat larva. Menurut penelitian Diener (2009) pertumbuhan optimum larva terjadi apabila diberikan perlakuan *feeding rate* pada larva BSF.

3.3.2 Persiapan Larva BSF

Larva yang baru menetas sangat rentan terhadap pengaruh faktor eksternal, seperti suhu, tekanan oksigen rendah, serangan jamur, kadar air yang tidak sesuai, dan adanya bahan beracun. Keterbatasan fisik dan daya tahan larva yang masih berkembang menyebabkan mereka lebih mudah terpengaruh oleh kondisi lingkungan yang tidak optimal yang dapat menghambat pertumbuhan atau meningkatkan risiko kematian, sehingga larva ditebar pada saat sudah melewati instar 2 (berumur 3-5 hari). Larva BSF yang sudah berumur 5 hari (instar 3) sebanyak 1200 ekor akan ditebar pada wadah. Larva didapat dari Toko Budidaya Maggot Biomagg. Larva akan diambil sebanyak 100 per wadah biokompos. Pengukuran bobot dilakukan dengan mengukur total larva didalam wadah sedangkan pengukuran panjang larva dengan cara sampling. Jumlah yang diambil untuk penyamplingan panjang yaitu berjumlah 10 ekor. Larva BSF yang akan diukur diberi alkohol untuk memudahkan pengukuran. Pengukuran dilakukan menggunakan milimeter block.

3.3.3 Persiapan Dekomposisi

Persiapan awal pengomposan yaitu mempersiapkan sampah yang sudah dicacah. Sampah tanpa campuran sebagai kontrol (P1), sampah yang dicampur dengan 5% EM4 untuk P2, 10 % molase untuk P3, dan campuran 5% EM4 dan 10% molase untuk P4. Penelitian Rahmatullah *et al.* (2020) menyatakan penambahan 5% EM4 dengan substrat merupakan perlakuan paling terbaik dalam reduksi sampah organik menggunakan larva lalat BSF. Penggunaan 5% EM4 dan 10% molase dilakukan agar jumlah kadar air yang ditambahkan tidak terlalu banyak sehingga tidak menyebabkan kondisi anaerobik atau pembusukan pada limbah pada saat dekomposisi Larva BSF.

Sebanyak 100 ekor larva akan diletakkan di setiap wadah dengan volume 1000 cm³ (12,5 cm x 7 cm). Ukuran wadah pada pemeliharaan larva BSF harus diperhatikan dengan kepadatan larva. Menurut Baragga-Fonseca *et al.* (2017), kerapatan larva yang buruk akan mempengaruhi pertumbuhan dan kelangsungan hidup larva. Rata-rata kerapatan optimum larva BSF adalah 1,4 larva/cm², sehingga 100 larva membutuhkan wadah dengan minimal luasan 140 cm². Total akan digunakan 12 wadah, di mana akan dilakukan 4 pengujian dan 3 perulangan. Kemudian larva akan diberikan sampah organik setiap 3 hari sekali dengan *feeding rate* 80% dari berat larva, dengan perbandingan komposisi sampah yaitu 40% sampah sayur; 40% sampah buah; 20% jeroan ayam. Menurut penelitian yang dilakukan Diener (2010), larva BSF mampu mengonsumsi sampai dengan 80% dari jumlah pakan yang diberikan. Menurut Firdausy AM *et al.* (2021) frekuensi *feeding* yang baik untuk larva BSF dilakukan setiap 3 hari sekali. Wadah biokompos akan ditutup dengan kain kasa dengan diameter 1 mm untuk menghindari masuknya serangga lain tanpa mengurangi aliran udara pada wadah kemudian wadah akan ditutupi kain hitam, hal ini dikarenakan larva BSF adalah hewan *fotofobia* yang berarti mereka cenderung menghindari cahaya. Pada fase larva,

mereka lebih aktif berada di tempat yang gelap dan menjauhi sumber cahaya (Mahardika 2016).

3.3.4 Pengukuran Suhu

Suhu merupakan parameter yang sangat penting bagi efisiensi proses pengomposan. Pengukuran suhu dilakukan untuk menentukan seberapa baiknya proses pengomposan berlangsung dan seberapa besarnya tingkat toleransi suhu dari larva BSF selama masa pemeliharaan. Degradasi terbaik dari massa kompos didapat pada kisaran suhu 45-55°C, suhu lebih dari 55°C membantu dalam membunuh bakteri di dalam kompos (Anwar *et al.* 2015). Pengukuran suhu dilakukan dengan menggunakan termometer yang akan mengukur suhu ruangan dan suhu pakan. Pengumpulan data suhu dalam satuan celcius dan akan dilakukan setiap hari di jam 11.00-15.00 di mana waktu tersebut adalah waktu terpanas, kemudian ditulis dalam suatu *log book*. Nilai-nilai tersebut akan digunakan untuk mengetahui seberapa besar tingkatan toleransi larva BSF terhadap nilai suhu ruang maupun nilai suhu pada bak pengomposan pada proses reduksi sampah organik oleh larva BSF dan juga sebagai tempat berkembang siklus larva BSF itu sendiri. Pengukuran suhu ruangan dan suhu media menggunakan thermometer digital dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Pengukuran suhu ruangan dan media dengan termometer digital

3.3.5 Pengukuran pH Substrat

Djuarnani *et al.* (2005) menyatakan bahwa pH yang terlalu rendah atau asam dapat menyebabkan kematian sebagian mikroorganisme. Sebaliknya, jika pH terlalu tinggi atau basa, konsumsi oksigen akan meningkat. Penelitian Ma J *et al.* (2017) menekankan bahwa pentingnya pengaturan pH substrat dalam budidaya BSF untuk meningkatkan pertumbuhan larva dan efisiensi pertumbuhan larva BSF. Perkembangan larva dipengaruhi oleh pH lingkungan. Nilai pH berperan dalam memengaruhi kinerja enzim-enzim seperti amilase, lipase, dan protease di dalam usus larva. Enzim-enzim ini membantu meningkatkan kemampuan larva BSF dalam mencerna makanan. Pengukuran pH bertujuan untuk mengetahui tingkat toleransi perubahan pH pada pakan selama penelitian. Pengukuran pH akan dilakukan dengan menggunakan pH meter digital yang akan mengukur pH substrat setiap hari. Data pengukuran akan ditulis dalam *logbook*. Pengukuran pH dilakukan untuk mengetahui Tingkat toleransi larva terhadap pH sampah. Pengukuran dilakukan menggunakan pH meter dan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Pengukuran pH menggunakan pH meter

3.3.6 Pengukuran Laju Perkembangan Larva BSF

Pengukuran berat larva dilakukan dengan cara pengukuran langsung total larva dalam wadah. Pengukuran dilakukan dengan larva tiap wadah yang ditimbang menggunakan timbangan digital dengan satuan gram. Pengukuran dilakukan setiap tiga hari sekali selama fase larva BSF, sesuai dengan waktu pemberian pakan. Nilai pengukuran akan dituliskan dalam *logbook*. Penentuan laju perkembangan terbaik tiap perlakuan akan dilakukan dengan membandingkan berat awal dan berat akhir dari siklus larva BSF. Perbandingan dilakukan dengan melakukan penimbangan berat awal larva dan berat akhir dari keempat perlakuan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan neraca digital agar terhindar dari sampah organik yang menempel, maka larva BSF akan diseka dengan tisu agar perhitungan lebih akurat. Penimbangan Larva BSF dilakukan seperti Gambar 5.



Gambar 5 Penimbangan larva BSF dengan timbangan digital

$$\Delta m_{larva} = m_0 - m_1 \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

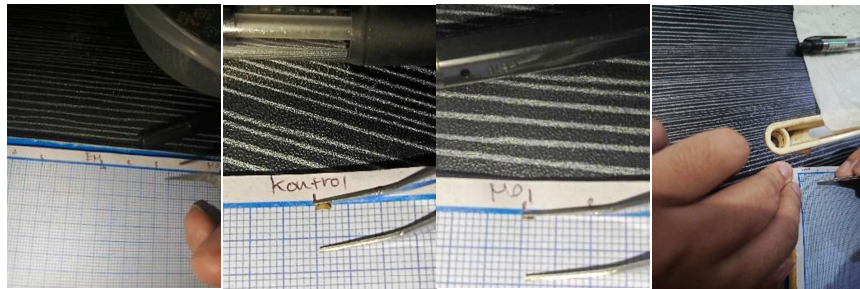
Δm : Pertambahan berat larva (gram)

m_0 : berat awal larva (gram)

m_1 : berat akhir larva (gram)

Pengukuran panjang larva akan dilakukan dengan cara *sampling*. Pengukuran dilakukan dengan mengambil 10 ekor. Pengukuran dilakukan setiap 3 hari sekali dengan milimeter block, sesuai dengan waktu pemberian pakan. Larva akan di bersihkan terlebih

dahulu kemudian akan diukur panjangnya. Hasil pengukuran panjang larva akan ditulis dengan satuan milimeter dan akan ditotal kemudian dibagi dengan total sampel larva. Data akan dituliskan didalam *logbook*. Hasil dari pengukuran panjang larva BSF ditotal kemudian dibagi dengan jumlah larva BSF yang diukur untuk mencari panjang larva setiap 3 hari sekali. Pengukuran Panjang Larva dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Pengukuran panjang larva BSF dengan milimeter block

$$\Delta l_{larva} = l_0 - l_1 \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

Δl : Pertambahan panjang larva (mm)

l_0 : Panjang awal larva (mm)

l_1 : Panjang akhir larva (mm)

3.3.7 Efficiency of Conversion of Digested Feed (ECD)

Efficiency of Conversion of Digested Feed (ECD) yang memiliki arti efisiensi konversi pakan tercerna adalah konversi pakan yang dicerna oleh larva selama masa fase larva. ECD merupakan salah satu parameter untuk mengetahui seberapa efektif larva BSF dalam mendegradasi limbah organik. Penelitian Scriber dan Slansky. (1981) menyatakan bahwa perhitungan ECD dapat dilakukan dengan persamaan berikut.

$$ECD = \frac{\Delta m_{larva}}{Pt-R} \times 100\% \dots \dots \dots 3$$

Keterangan:

ECD : *Efficiency of Conversion of Digested Feed* (%)

Δm : Perubahan berat larva (gram)

Pt : Pakan tercerna (gram)

R : Residu dan feses (gram)

3.3.8 Feed Conversion Ratio (FCR)

Feed Conversion Ratio (FCR) merupakan perbandingan antara jumlah pakan yang digunakan dengan jumlah bobot larva yang dapat dihasilkan. FCR digunakan untuk mengukur efisiensi penggunaan pakan dalam pemeliharaan larva BSF (Suwarta 2014). FCR dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$FCR = \frac{F}{Wt-Wo} \dots \dots \dots 4$$

Keterangan :

- FCR : *Feed Conversion Ratio*
 F : Total Pakan yang Diberikan (gram)
 Wt : Biomassa Larva pada akhir penelitian (gram)
 Wo : Biomassa Larva pada awal penelitian (gram)

3.3.9 Waste Reduction Indeks (WRI)

Waste Reduction Indeks (WRI) merupakan laju dekomposisi larva lalat BSF terhadap limbah organik yang diberikan dapat dilihat pada nilai laju konsumsi limbah organik dan efisiensi umpan tercerna. Menurut Diener (2010) reduksi sampah oleh larva lalat BSF disebut sebagai efektivitas dekomposisi dan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$WRI = \frac{D}{t} \times 100\% \dots\dots\dots 5$$

$$D = \frac{W-R}{W} \dots\dots\dots 6$$

Keterangan:

- WRI : indeks pengurangan sampah %/(hari)
 D : Penurunan sampah total (%)
 t : total waktu larva memakan sampah (hari)
 W : jumlah sampah awal (gram)
 R : Residu (gram)

3.3.10 Survival Rate (SR)

Survival Rate (SR) adalah persentase larva yang hidup selama masa dekomposisi limbah. Tingkat kelulusan hidup ditentukan dengan melakukan perbandingan antara awal mulai dekomposisi dengan akhir fase, yang di tulis dalam satuan persen (Myers *et al.* 2008). Tingkat kelulusan hidup larva merupakan salah satu indikator untuk mengetahui seberapa besar tingkat toleransi larva terhadap kondisi lingkungan (suhu, pH dan ventilasi), serta pada saat pemberian pakan dan penambahan katalis selama penelitian. Tingkat kelulusan hidup larva dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

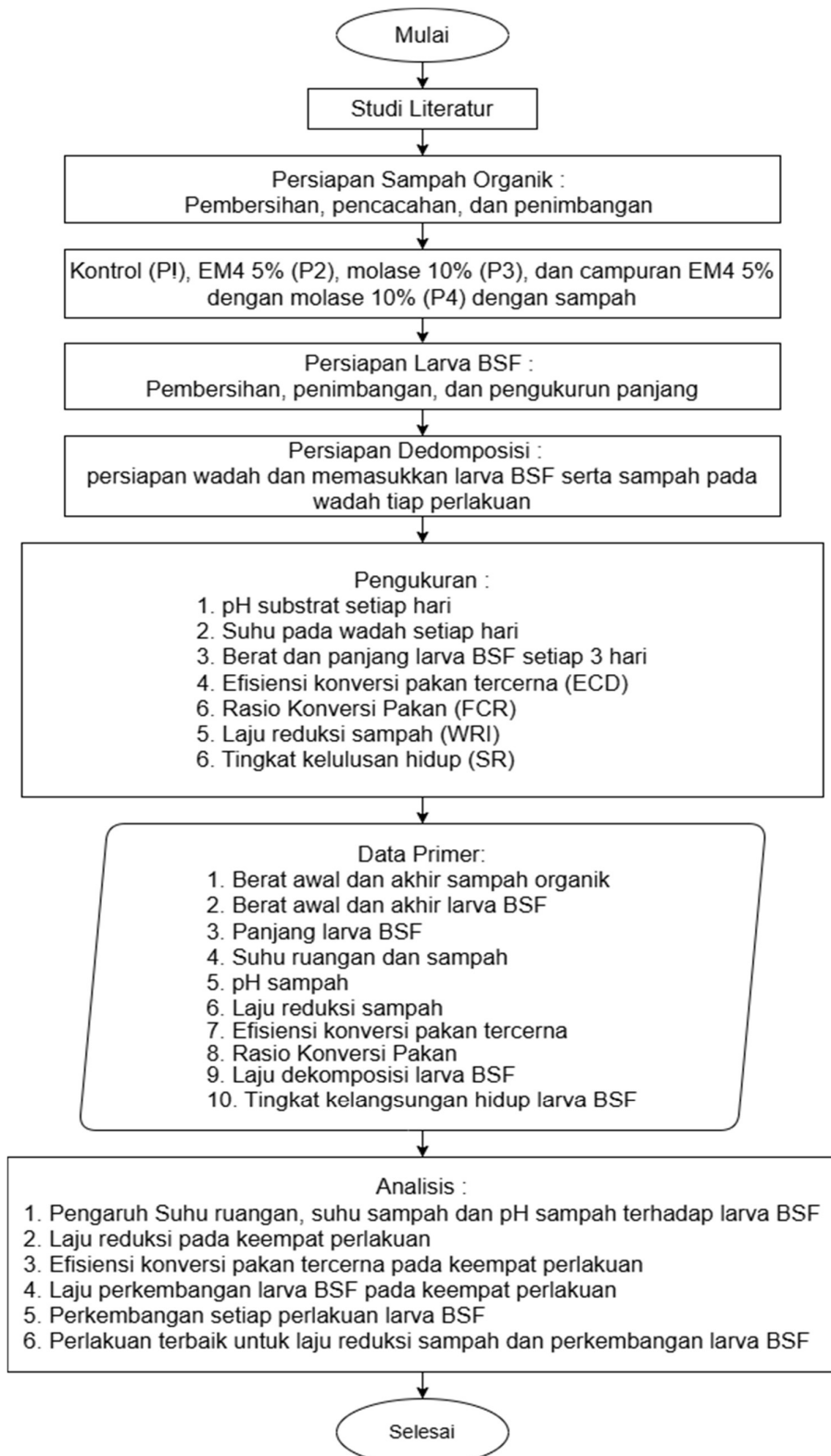
$$SR = \frac{y}{x} \times 100 \% \dots\dots\dots 7$$

Keterangan:

- SR : Tingkat kelulusan hidup larva (%)
 y : Jumlah larva yang hidup (ekor)
 x : Jumlah larva awal (ekor)

3.3.11 Analisis Data

Data yang diperoleh selama penelitian akan dibentuk dalam tabel atau grafik kemudian dianalisis secara deskriptif dan statistik dengan metode uji ANOVA dan uji DMRT. Analisis data larva BSF meliputi pengukuran bobot dan panjang larva BSF dari awal sampai akhir masa, indeks pengurangan limbah, efisiensi konversi limbah organik oleh larva BSF, dan tingkat kelangsungan hidup larva BSF. Analisis data juga akan melihat perbandingan perkembangan pada setiap tahapan umur larva BSF.

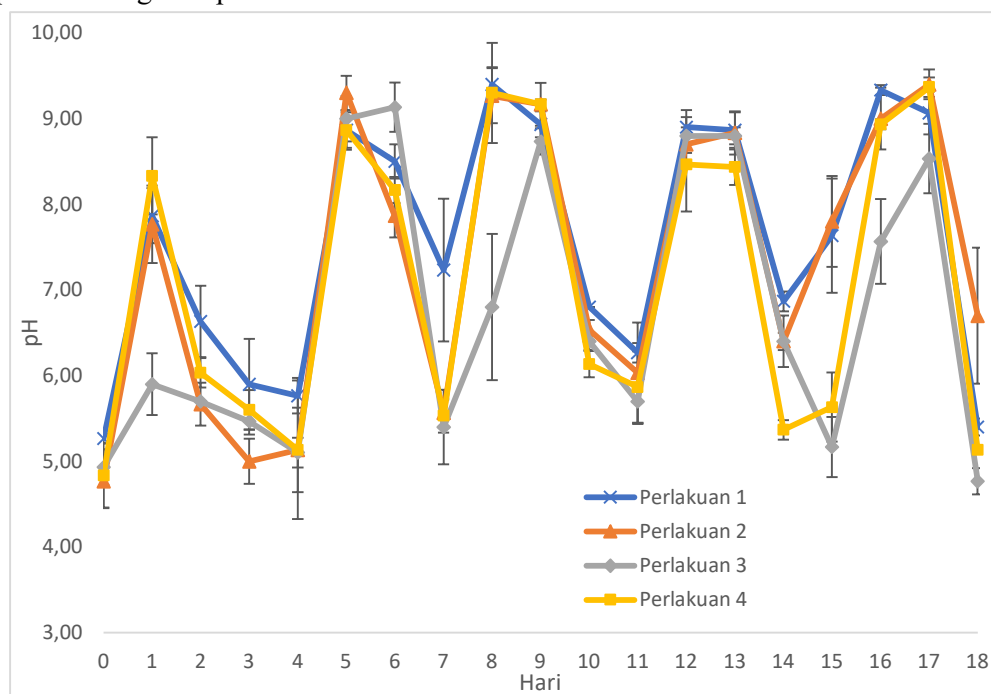


Gambar 7 Diagram alir penelitian

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengukuran pH

Sampah organik yang digunakan pada penelitian diambil dari Pasar Ciracas dengan persentase campuran yaitu 40% pepaya, 40% sawi hijau dan 20% hati ayam. Pakan yang diberikan sebesar 80% dari berat larva BSF, dengan pemberian 3 hari sekali. Pengukuran pH berguna untuk mengetahui tingkat toleransi larva terhadap kenaikan dan penurunan pH pada substrat. Hasil pengukuran pH selama masa pemeliharaan pada substrat disajikan pada Lampiran 1 dan grafik pada Gambar 8.



Gambar 8 Grafik perubahan pH pakan selama pemeliharaan larva BSF

Hasil pengukuran yang ada pada Gambar 8 menunjukkan bahwa perubahan pH pakan dalam substrat tidak dapat memengaruhi pertumbuhan, perkembangan, serta kelangsungan hidup larva BSF di dalam wadah. Pengamatan pH pada media mengindikasikan bahwa larva BSF memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap variasi pH dalam rentang 4,77 sampai 9,40. Hal ini menandakan bahwa larva akan tetap aktif mengonsumsi dan mengurai bahan organik meskipun pH pakan mengalami perubahan yang signifikan. Studi yang dilakukan oleh Diener *et al.* (2011) menyatakan bahwa larva BSF memiliki toleransi yang tinggi terhadap berbagai kondisi pH karena sistem pencernaan yang adaptif dan mikrobiota usus yang membantu menstabilkan proses pencernaan. Selain itu, enzim-enzim pencernaan larva BSF dapat berfungsi dalam berbagai kondisi pH, sehingga larva tetap mampu menyerap nutrisi dari pakan.

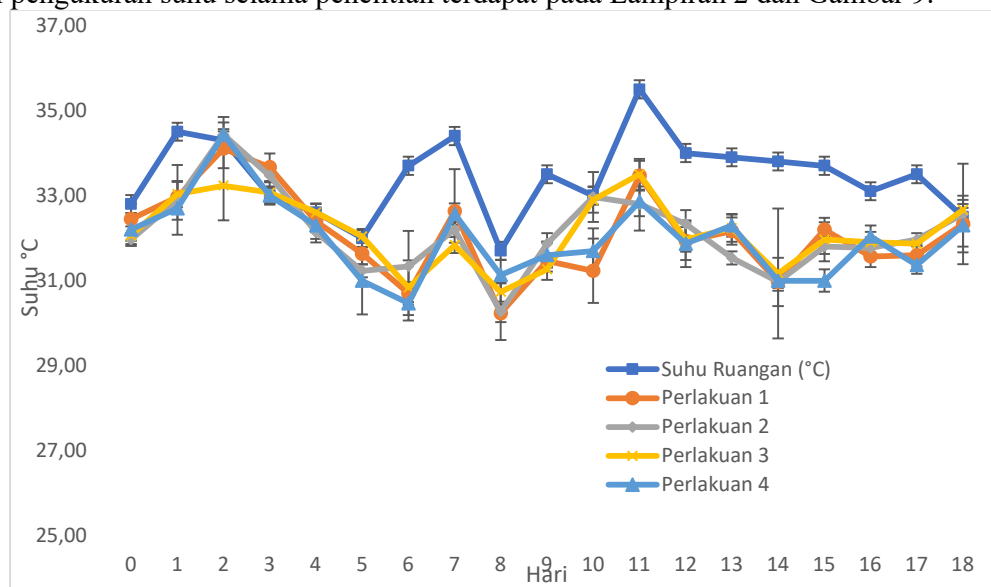
Gambar 4 menunjukkan perubahan pH substrat selama periode pengamatan, dengan dua kategori pH yang diamati: pH tinggi dan pH rendah. Secara umum, pH tertinggi tiap perlakuan

yaitu 9,4 pada perlakuan 1, 9,4 pada perlakuan 2, 9,13 pada perlakuan 3, dan 9,37 pada perlakuan 4. Sementara pH rendah tiap perlakuan yaitu 5,27 pada perlakuan 1, 4,77 pada perlakuan 2, 4,77 pada perlakuan 3, dan 4,83 pada perlakuan 4. Variasi ini memberikan wawasan penting tentang bagaimana larva BSF beradaptasi terhadap lingkungan dengan pH yang cukup ekstrem. Variasi pH dalam substrat, baik tinggi maupun rendah, tidak menunjukkan pengaruh langsung yang signifikan terhadap kehidupan larva BSF di dalam wadah. Hal ini menunjukkan bahwa larva BSF memiliki toleransi yang baik terhadap perubahan pH, yang menjadikan mereka organisme yang efektif untuk pengolahan limbah organik dengan karakteristik yang beragam.

pH tinggi yang berkisar antara 9,13 hingga 9,4 tidak tampak memberikan dampak signifikan yang menghambat pertumbuhan dan aktivitas larva BSF di dalam wadah. Sebaliknya, pH rendah dengan rentang 4,77 hingga 5,27 juga tidak secara langsung memengaruhi kelangsungan hidup larva BSF dalam jangka pendek. Meskipun pH substrat tidak memengaruhi langsung kelangsungan hidup larva, kondisi pH berperan dalam mengatur aktivitas mikroba yang terlibat dalam proses dekomposisi. Dalam penelitian ini, tidak ditemukan perubahan drastis pada komunitas mikroba yang dapat memengaruhi kesehatan larva, mungkin karena larva BSF sendiri menghasilkan senyawa antimikroba yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba patogen (Erickson *et al.* 2004).

4.2. Pengukuran Suhu

Kondisi lingkungan dan sumber makanan yang ideal bagi larva BSF adalah iklim hangat dengan suhu sekitar 30°C hingga 36°C. Jika suhu terlalu panas, larva akan meninggalkan makanannya untuk mencari tempat yang lebih sejuk. Sebaliknya, jika terlalu dingin metabolisme larva melambat, menyebabkan mereka makan lebih sedikit dan pertumbuhannya menjadi lambat. Suhu optimum pertumbuhan BSF adalah antara 30°C-36°C. Larva BSF tidak dapat bertahan pada suhu kurang dari 7°C dan suhu lebih dari 45°C (Popa dan Green 2012). Hasil pengukuran suhu selama penelitian terdapat pada Lampiran 2 dan Gambar 9.



Gambar 9 Grafik perubahan suhu selama pemeliharaan larva BSF

Pengukuran suhu ruang dan suhu substrat dilakukan pada saat jam yang sama pada waktu 11.00 – 15.00 WIB rentan suhu ruangan berkisar antara 31,70 °C – 35,50 °C, hal ini menyatakan bahwa larva BSF dapat tumbuh dan berkembang pada suhu ruang yang cukup panas hingga mencapai 35,50 °C. Hasil pengukuran suhu media mendapatkan bahwa suhu terendah tiap dari pemeliharaan adalah 30,27 °C, dan suhu tertinggi pada media pakan selama penelitian adalah 34,43 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan suhu pakan dalam wadah tidak secara signifikan memengaruhi pertumbuhan, perkembangan, atau kelangsungan hidup larva BSF di dalam wadah. Pengamatan ini mengindikasikan bahwa larva BSF memiliki kemampuan adaptasi yang baik terhadap suhu ruangan dan suhu media dalam wadah yang memungkinkan mereka tetap aktif mengonsumsi dan mengurai bahan organik meskipun suhu pakan mengalami perubahan.

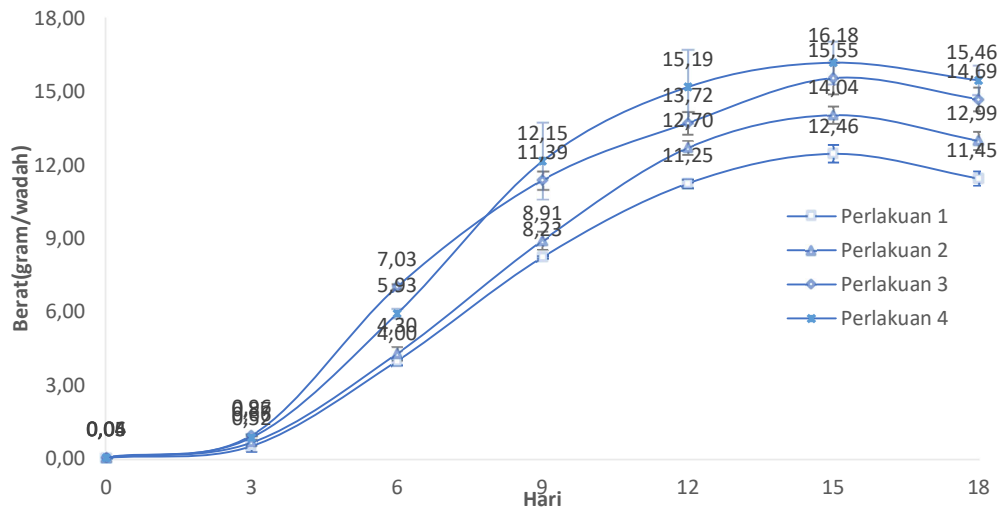
Data suhu yang tercatat dalam grafik pada Gambar 9 menunjukkan bahwa suhu pada setiap perlakuan cenderung lebih rendah daripada suhu ruangan yang tercatat pada hari yang sama. Misalnya, pada hari pertama, suhu ruangan tercatat sekitar 34,5°C, namun suhu pada perlakuan 1 tercatat lebih rendah, yaitu 32,45°C dan pada perlakuan 2, 3, dan 4 suhu juga berada di bawah suhu ruangan, yaitu antara 31,97°C hingga 32,20°C. Perubahan suhu yang lebih rendah pada perlakuan ini mungkin disebabkan oleh efek yang dihasilkan oleh proses dekomposisi sampah yang terjadi di dalam wadah percobaan. Dekomposisi organik oleh larva BSF dan mikroorganisme yang ada dalam sampah menghasilkan panas, namun proses ini memerlukan waktu dan terkadang tidak cukup untuk mencapai suhu yang setinggi suhu ruangan. Selain itu, wadah percobaan memiliki sirkulasi udara yang baik sehingga dapat menyebabkan penurunan suhu di dalamnya dibandingkan dengan suhu ruangan yang lebih stabil.

4.3. Perkembangan Berat Larva

Pada penelitian ini, pertumbuhan bobot larva BSF diamati dengan menggunakan *feeding rate* sebesar 80%, serta empat variasi perlakuan berupa perlakuan 1 sebagai kontrol, perlakuan 2 dengan penambahan 5% EM4, perlakuan 3 dengan penambahan 10% molase, dan perlakuan 4 dengan kombinasi 5% EM4 serta 10% molase. *Feeding rate* 80% dipilih untuk memastikan larva mendapatkan nutrisi optimal yang mendukung pertumbuhannya, sementara penambahan EM4 dan molase diharapkan dapat meningkatkan proses dekomposisi, kelangsungan hidup larva dan sebagai nutrisi lebih untuk larva. Hasil pengamatan berat larva selama masa penelitian dapat dilihat pada Lampiran 3 dan Gambar 10.

Dari grafik pada Gambar 10, terdapat empat perlakuan yang mempengaruhi bobot larva BSF dalam periode waktu yang berbeda, yaitu pada hari ke-0, 3, 6, 9, 12, 15, dan 18. Pada hari ke-0, bobot awal larva tiap perlakuan berada di 0,04 gram, 0,05 gram, 0,06 gram dan 0,04 gram pada keempat perlakuan. Pertumbuhan bobot larva meningkat secara signifikan mulai hari ke-6, terutama pada perlakuan 3 dan perlakuan 4 yang masing-masing mencapai 7,03 gram dan 5,93 gram lebih tinggi dibanding perlakuan 1 dan 2.

Selanjutnya, pada hari ke-9, pertumbuhan bobot larva terus menunjukkan peningkatan dengan bobot tertinggi tetap berada di perlakuan 4 sebesar 12,15 gram, diikuti oleh perlakuan 3 sebesar 11,39 gram. Pada hari ke-9 hingga hari ke-15, bobot larva pada setiap perlakuan mengalami peningkatan yang stabil dengan perlakuan 4 mencapai bobot tertinggi pada hari ke-15 (16,18 gram) dan perlakuan 3 (15,55 gram), namun, pada hari ke-18, terlihat adanya sedikit penurunan bobot pada semua perlakuan, meskipun perlakuan 3 dan perlakuan 4 tetap menunjukkan bobot tertinggi, yaitu 14,69 gram dan 15,46 gram masing-masing.



Gambar 10 Pertumbuhan berat larva BSF

Penurunan bobot larva BSF terjadi karena beberapa alasan. Pertama, saat mendekati fase prepupa, larva berhenti makan dan menggunakan cadangan energi untuk bermetamorfosis sehingga bobotnya menurun. Selain itu, kualitas pakan juga menurun seiring waktu karena nutrisi sudah banyak dikonsumsi larva di awal pertumbuhan, akibatnya, larva tidak mendapatkan nutrisi yang cukup di akhir periode yang menyebabkan penurunan bobot. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (ANOVA) pada Lampiran 6 serta uji DMRT pada Tabel 2 menunjukkan berat keempat perlakuan berbeda nyata ($\alpha > 5\%$) terhadap penambahan EM4 dan molase selama pemeliharaan.

Tabel 2 Hasil uji DMRT berat larva BSF selama pemeliharaan

Hari	Perlakuan			
	1	2	3	4
H0	0,04±0,000a	0,05±0,012b	0,06±0,000c	0,04±0,006a
H3	0,52±0,233a	0,66±0,131b	0,96±0,035d	0,87±0,127c
H6	4,00±0,136a	4,09±0,261b	7,03±0,093d	5,93±0,184c
H9	8,23±0,045a	8,91±0,375ab	11,39±0,367c	12,15±1,539c
H12	11,25±0,163a	12,70±0,278b	13,72±0,483c	15,19±1,498d
H15	12,46±0,360a	14,04±0,359b	15,55±0,656c	16,18±0,858d
H18	11,45±0,286a	12,99±0,372b	14,69±0,495c	15,46±0,595d

Keterangan: a,b,c,d = nota huruf pada baris yang sama serupa berarti tidak ada perbedaan nyata pada uji Duncan dengan tingkat nilai kepercayaan 5%

P1 = Kontrol

P2 = EM4 5%

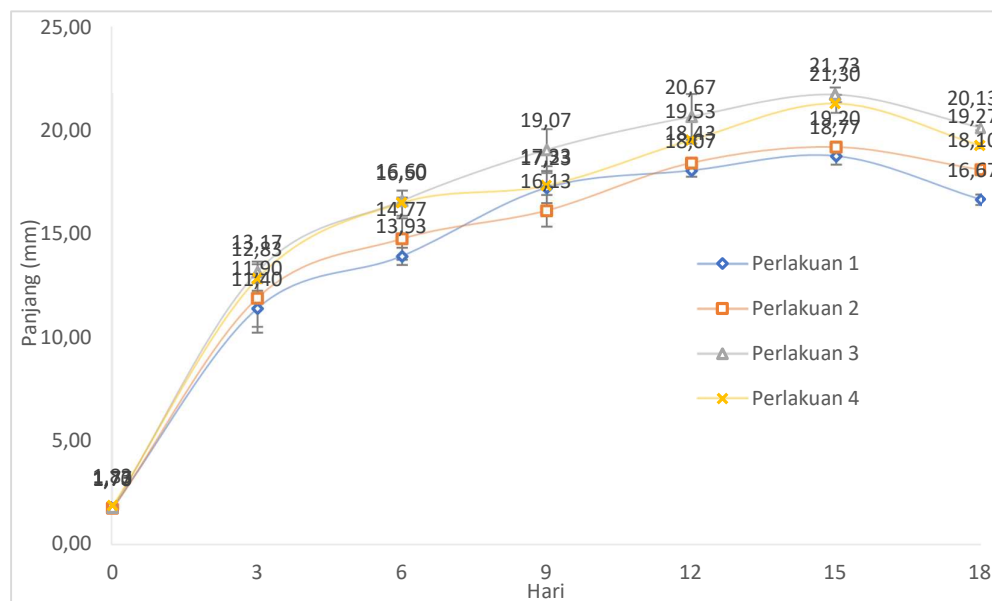
P3 = Molase 10 %

P4 = EM4 5% dan Molase 10 %

Secara keseluruhan, Tabel 2 menunjukkan bahwa perlakuan 3 dan perlakuan 4 cenderung memberikan hasil bobot larva yang lebih besar dibandingkan perlakuan 1 dan 2, menunjukkan potensi kedua perlakuan tersebut dalam mendukung pertumbuhan larva yang lebih optimal. Pertumbuhan larva yang optimal bisa terjadi karena nutrisi tambahan yang terkandung pada molase, serta EM4. Molase memiliki kandungan gula yang tinggi, yang memberikan sumber energi cepat dan merangsang nafsu makan. Molase juga dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme dalam substrat, sehingga membantu proses dekomposisi bahan organik dan menghasilkan nutrisi yang lebih mudah diserap oleh larva. Kombinasi aroma dan kandungan nutrisi dari molase menjadikan larva lebih aktif mengonsumsinya dan mengalami pertumbuhan yang lebih baik. Molase memiliki kandungan gula yang cukup tinggi terutama kandungan sukrosa sekitar 34% dan 37% mengandung karbon (Aswardi 2020). Kurang optimalnya pertumbuhan dari perlakuan 1 dan perlakuan 2 dapat disebabkan oleh kadar air yang rendah. Kadar air yang rendah dalam sampah campuran berpengaruh dalam menghambat pertumbuhan larva (Hartono *et al.* 2021).

4.4. Perkembangan Panjang Larva

Larva lalat BSF yang baru menetas dari telur berukuran sangat kecil, sekitar 0,07 inci (1,8 mm), dan hampir tidak terlihat dengan mata telanjang. Tidak seperti lalat dewasa yang menyukai sinar matahari, larva memiliki sifat fotofobia atau tidak menyukai cahaya (Sipayung 2015). Menurut Wardhana (2016), larva kemudian berkembang hingga mencapai panjang sekitar 5 mm dan akan mengalami pergantian kulit saat memasuki fase prepupa. Hasil data dari pertumbuhan panjang Larva BSF selama 18 hari dengan pengamatan setiap 3 hari sekali dari semua media yaitu P1 sebagai media kontrol, P2 dengan 5% EM4, P3 dengan 10% molase dan P4 dengan kombinasi 5% EM4 dan 10 % molase dapat dilihat pada Lampiran 4 dan Gambar 11.



Gambar 11 Pertumbuhan panjang larva BSF

Ukuran panjang Larva BSF (*Hermetia illucens*) bervariasi tergantung pada media yang digunakan. Pertumbuhan larva terjadi karena adanya penambahan jaringan yang dihasilkan dari pembelahan sel secara mitosis, yang dipicu oleh kelebihan input energi dan protein dari media pertumbuhan (Rachmawati dan Samidjan 2013). Pertumbuhan panjang tertinggi ditemukan pada perlakuan penambahan 10% molase (P3), dengan panjang rata-rata tertinggi mencapai 21,73 mm. Kualitas dan kuantitas makanan yang dikonsumsi oleh larva BSF memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan, waktu perkembangan, kelangsungan hidup, mortalitas, serta perkembangan ovarium serangga dewasa, yang semuanya berkontribusi pada perkembangan fisiologi dan morfologi BSF dewasa (Tomberlin *et al.* 2002).

Data pada Gambar 11 menyatakan bahwa panjang larva pada setiap perlakuan mengalami peningkatan panjang yang signifikan dari hari ke-0 hingga hari ke-3. Kenaikan panjang terbesar terjadi pada perlakuan 3, dengan peningkatan mencapai 11,44 cm selama interval ini. Setelah itu, meskipun semua perlakuan masih menunjukkan pertumbuhan dari hari ke-3 hingga hari ke-15, laju kenaikannya mulai melambat. Pada hari ke-15, perlakuan 3 tetap menunjukkan panjang larva tertinggi dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Namun, dari hari ke-15 hingga hari ke-18 panjang larva di setiap perlakuan berkurang menjadi 16,67, cm, 18,10 cm, 20,13 cm, dan 19,27 cm, terjadi penurunan panjang larva di semua perlakuan. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (ANOVA) pada Lampiran 7 serta uji DMRT pada Tabel 3 menunjukkan panjang keempat perlakuan berbeda nyata ($\alpha > 5\%$) terhadap penambahan EM4 dan molase selama pemeliharaan.

Tabel 3 Hasil uji DMRT panjang larva BSF selama pemeliharaan

Hari	Perlakuan			
	1	2	3	4
H0	1,77±0,058ac	1,70±0,100a	1,73±0,153ab	1,83±0,058a
H3	11,40±0,872a	11,90±1,652ab	13,17±0,513a	12,83±0,153ac
H6	13,93±0,416a	14,77±1,002ab	16,60±0,173c	16,50±0,608c
H9	17,23±0,723ab	16,13±0,764a	19,07±1,012c	17,33±0,950ac
H12	18,07±0,289a	18,43±0,153ab	20,67±1,106c	19,53±0,153bc
H15	18,77±0,404a	19,20±0,200ab	21,73±0,351c	21,30±0,436c
H18	16,67±0,252a	18,10±0,173b	20,13±0,115d	19,27±0,155c

Keterangan: a,b,c,d = nota huruf pada baris yang sama serupa berarti tidak ada perbedaan nyata pada uji Duncan dengan tingkat nilai kepercayaan 5%

P1 = Kontrol

P2 = EM4 5%

P3 = Molase 10 %

P4 = EM4 5% dan Molase 10 %

Berdasarkan Tabel 3, perlakuan 3 menunjukkan hasil yang paling optimal dalam meningkatkan panjang larva hingga hari ke-15, namun pada akhir fase larva terjadi penurunan panjang yang sangat signifikan. Ukuran larva BSF menjadi lebih kecil ketika memasuki fase pupa karena terpakainya energi dan nutrisi yang didapat pada fase larva, kemudian akan

digunakan untuk proses metamorfosis. Pada fase ini, larva berhenti makan dan mulai menggunakan cadangan nutrisi yang telah terkumpul selama fase larva untuk membentuk struktur tubuh dewasa. Penurunan ini terjadi karena pada perubahan fase dari larva menjadi pupa menyebabkan larva menyusut sehingga larva menjadi tidak elastis. Proses metamorfosis ini memerlukan energi yang signifikan, yang menyebabkan larva kehilangan sebagian massa tubuhnya (Rachmawati dan Samidjan 2013). Selain itu, selama tahap pupa larva mengalami dehidrasi yang mengakibatkan penurunan ukuran dan berat tubuh (Tomberlin *et al.* 2002). Larva juga menghentikan pertumbuhan tubuhnya dan fokus pada pembentukan organ serta struktur internal yang diperlukan untuk kehidupan sebagai lalat dewasa. Faktor-faktor ini menyebabkan ukuran larva tampak mengecil ketika bertransformasi menjadi pupa.

4.5 Pengukuran Kinerja Pertumbuhan dan Reduksi Limbah Larva BSF

Larva BSF mampu mengonsumsi sampai dengan 80% dari jumlah pakan yang diberikan (Diener 2010). *Feeding rate* 80% ini berarti pakan yang diberikan setara dengan 80% dari total berat larva yang merupakan dosis tinggi dan bertujuan untuk memastikan ketersediaan nutrisi yang cukup. Pemberian pakan dalam jumlah besar ini memungkinkan larva memperoleh energi yang cukup untuk mendukung metabolisme serta pertumbuhan biomassa, yang umumnya tercermin dari peningkatan berat larva. Jumlah pemberian pakan pada larva dapat dilihat pada Tabel 4, pemberian pakan dilakukan sekali dalam 3 hari dengan *feeding rate* 80%.

Tabel 4 Pemberian pakan larva BSF

Hari	Perlakuan 1 (gr)	Perlakuan 2 (gr)	Perlakuan 3 (gr)	Perlakuan 4 (gr)
0	0,096	0,112	0,144	0,104
3	1,248	1,592	2,296	2,080
6	9,592	10,312	16,880	14,240
9	19,760	21,376	27,328	29,168
12	26,992	30,472	32,936	36,456
15	29,904	33,688	37,312	38,832
18	27,472	31,176	35,248	37,096
Total	115,06	128,73	152,14	157,98

Dalam penelitian, pemberian pakan 80% dikaitkan dengan peningkatan berat larva yang signifikan dibandingkan dengan *feeding rate* yang lebih rendah. Pada dosis ini pakan lebih mudah dikonsumsi secara maksimal oleh larva, memungkinkan mereka untuk tumbuh dengan optimal. Selain itu, berat larva yang lebih tinggi juga mencerminkan efisiensi konversi pakan menjadi biomassa, yang dapat diukur melalui parameter FCR dan WRI. Pengukuran kinerja pertumbuhan dan reduksi limbah larva BSF dapat dilihat pada Tabel 5.

Parameter WRI menunjukkan efisiensi larva BSF dalam mengurangi sampah yang diberikan sebagai pakan. Berdasarkan nilai yang tertera pada Tabel 5, nilai WRI untuk keempat perlakuan hampir serupa, dengan perlakuan 1 dan perlakuan 3 memiliki nilai tertinggi, yaitu 5,25 %/hari, artinya bahwa larva dapat mengurai 5,25 % dari total pemberian pakan selama 18 hari. Hal ini menunjukkan bahwa keduanya memiliki efisiensi pengurangan sampah yang

sedikit lebih baik dibandingkan perlakuan 2 dan perlakuan 4 yaitu 5,23 % dari total pakan selama 18 hari. Hal ini menandakan bahwa larva pada perlakuan 1 dan 3 mungkin lebih efektif dalam mengubah sampah menjadi biomassa atau lebih cepat mengurai sampah dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Meskipun perbedaan antar perlakuan tidak terlalu signifikan, perbedaan kecil ini bisa disebabkan oleh variasi dalam komposisi pakan atau faktor lingkungan yang berbeda antar perlakuan. Secara keseluruhan, WRI yang tinggi pada semua perlakuan menunjukkan bahwa larva BSF mampu mengurangi sampah dengan efisiensi yang baik pada setiap perlakuan yang diuji. Nilai WRI yang tinggi memberi makna kemampuan larva dalam mereduksi sampah organik yang tinggi pula (Diener 2010).

Tabel 5 Parameter kinerja pertumbuhan dan reduksi limbah larva BSF

Parameter	Perlakuan 1	Perlakuan 2	Perlakuan 3	Perlakuan 4
WRI (%/hari)	5,25	5,23	5,25	5,23
FCR (%)	10,08	9,95	10,40	10,24
ECD (%)	10,48	10,68	10,17	10,37
SR (%)	91,67	92,00	81,00	90,33

Parameter FCR mengukur efisiensi pakan yang dikonversi menjadi biomassa larva. Nilai FCR yang lebih rendah menunjukkan konversi pakan yang lebih efisien (Suwarta 2014). Berdasarkan Tabel 5, perlakuan 2 memiliki nilai FCR terendah, yaitu 9,95 %, yang berarti larva hanya membutuhkan 9,95% pakan untuk menghasilkan berat total biomassa pada perlakuan 1. Hal ini menunjukkan bahwa larva pada perlakuan ini lebih efisien dalam mengubah pakan menjadi biomassa dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Perlakuan 1 (10,08 %) juga menunjukkan konversi pakan yang cukup efisien, meskipun sedikit lebih tinggi dari perlakuan 2. Di sisi lain, perlakuan 3 dan perlakuan 4 memiliki nilai FCR yang lebih tinggi, masing-masing memiliki nilai sebesar 10,40 % dan 10,24 %. Nilai ini menunjukkan bahwa konversi pakan menjadi biomassa sedikit kurang efisien pada perlakuan 3 dan perlakuan 4. Perbedaan nilai FCR ini dapat dipengaruhi oleh faktor seperti komposisi pakan, kandungan nutrisi, atau keberadaan bahan tambahan seperti EM4 atau molase yang dapat mempengaruhi metabolisme larva dan efisiensi pakan. Melihat lebih dalam pada hasil FCR, nilai yang lebih tinggi pada perlakuan 3 dan perlakuan 4 (10,40% dan 10,24%) menunjukkan bahwa larva pada kedua perlakuan ini membutuhkan lebih banyak pakan untuk menghasilkan biomassa yang sama dibandingkan dengan perlakuan 2 dan 1. Secara keseluruhan, semakin kecil nilai FCR, semakin efisien larva dalam mengonversi pakan menjadi berat tubuh.

Hasil penelitian yang tertera pada Tabel 5 menunjukkan variasi nilai ECD pada larva BSF dalam empat perlakuan yang berbeda. Perlakuan 1 yang berfungsi sebagai kontrol memiliki nilai ECD sebesar 10,48%, yang menunjukkan efisiensi dasar dalam konversi pakan tercerna menjadi biomassa larva. Perlakuan 2 mencatat nilai ECD tertinggi, yaitu 10,68%, Ini berarti bahwa untuk total makanan yang dicerna, larva pada perlakuan 2 berhasil mengonversinya menjadi 10,68 % biomassa yang berarti bahwa larva pada perlakuan ini menunjukkan efisiensi konversi pakan yang paling optimal. Hal ini mungkin disebabkan oleh komposisi atau kondisi pakan yang lebih ideal untuk mendukung pertumbuhan larva. Di sisi lain, perlakuan 3 memiliki nilai ECD paling rendah, yaitu 10,17%, menunjukkan bahwa larva kurang efisien dalam mengonversi pakan yang dicerna menjadi pertambahan berat tubuh,

mungkin karena komposisi pakan atau kondisi lingkungan yang kurang mendukung. Perlakuan 4 menunjukkan nilai ECD yang sama dengan kontrol, yaitu 10,37%, mengindikasikan bahwa perlakuan ini tidak meningkatkan atau mengurangi efisiensi konversi pakan secara signifikan dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Nilai ECD menunjukkan tingkat efisiensi pakan yang bisa dicerna dan disimpan oleh larva BSF. Semakin tinggi nilai ECD maka semakin besar tingkat sampah yang telah dimakan oleh larva BSF (Madu *et al.* 2022). Secara keseluruhan, perbedaan ECD yang tidak terlalu besar antar-perlakuan menunjukkan bahwa variasi komposisi atau kondisi pada tiap perlakuan memberikan dampak yang relatif kecil terhadap efisiensi konversi pakan pada larva BSF dalam penelitian ini.

Nilai ECD, WRI dan FCR yang hampir mirip di semua perlakuan dengan komposisi pakan yang sama dan tambahan EM, molase, dan kombinasi keduanya. Ini menunjukkan bahwa tambahan tersebut tidak secara signifikan mempengaruhi efisiensi konversi pakan menjadi biomassa larva. Untuk melihat efek yang lebih nyata pada ECD, perubahan yang lebih substansial dalam kualitas atau komposisi pakan mungkin diperlukan. Seringkali penambahan EM4, molase dan keduanya menunjukkan bahwa membantu mempercepat dekomposisi pakan, meningkatkan keberagaman mikroba dalam substrat, serta meningkatkan penyerapan nutrisi. Namun, pengaruhnya pada WRI, ECD, FCR cenderung minimal jika komposisi pakan dasarnya sudah memadai. Dampak pemberian EM4, molase dan kombinasi keduanya dapat terlihat dari bobot dan panjang larva dibandingkan dengan tanpa pemberian. Jika dilihat dari pertumbuhan dan perkembangan larva, kenaikan bobot dan panjang larva sangat signifikan pada wadah perlakuan dengan pemberian EM4 dan molase.

Dari data SR larva BSF yang terdapat pada Tabel 5, terlihat bahwa perlakuan 2 (penambahan EM4 5%) memberikan hasil tertinggi dengan SR sebesar 92,00%, yang menunjukkan bahwa penambahan EM4 secara moderat dapat meningkatkan kelangsungan hidup larva. Perlakuan 1 (kontrol) dan perlakuan 4 (kombinasi EM4 dan molase) memiliki SR yang cukup tinggi dan mendekati nilai SR pada perlakuan 2, yaitu masing-masing sebesar 91,67% dan 90,33%. Ini menunjukkan bahwa kondisi pakan pada kontrol maupun kombinasi EM4 dan molase tetap mendukung kelangsungan hidup yang baik bagi larva. Di sisi lain, perlakuan 3 (penambahan molase 10%) memiliki SR terendah, yaitu 81,00%, yang menunjukkan bahwa pemberian molase dalam jumlah tersebut mungkin kurang optimal atau bahkan berpotensi mengurangi tingkat kelangsungan hidup larva. Secara keseluruhan, penambahan EM4 5% terbukti menjadi kondisi yang paling optimal dalam mendukung kelangsungan hidup larva, sementara kombinasi dengan molase dan penambahan molase tunggal menunjukkan efek yang kurang baik.

Penggunaan EM4 pada fermentasi sampah organik dapat meningkatkan kualitas substrat dan mempercepat dekomposisi, yang mendukung kelangsungan hidup larva BSF, penambahan molase, meskipun bermanfaat sebagai sumber energi, harus diperhatikan dosisnya karena kandungan gula yang berlebihan dapat mempengaruhi mikroflora atau larva itu sendiri. Kelangsungan hidup larva BSF sangat dipengaruhi oleh perlakuan yang diterapkan pada sampah organik. Penambahan EM4 memberikan hasil yang optimal, sedangkan penambahan molase dalam jumlah tinggi dapat menurunkan kelangsungan hidup larva. Oleh karena itu, perlu pengaturan dosis dan campuran perlakuan yang lebih tepat untuk mendukung keberhasilan dekomposisi sampah organik dengan larva BSF. Berdasarkan hasil ini, penggunaan EM4 dalam fermentasi sampah tampak lebih efektif dibandingkan molase dalam mendukung kelangsungan hidup larva.

Tabel 6 Hasil uji DMRT kinerja pertumbuhan dan reduksi larva BSF

Parameter	Perlakuan			
	1	2	3	4
WRI	5,26±0,0436ab	5,23±0,0473a	5,25±0,0342ab	5,23±0,0428a
ECD	0,105±0,0019bc	0,107±0,0008bc	0,102±0,0011a	0,104±0,0037ab
FCR	10,09±0,1021ab	9,95±0,1085a	10,40±0,0711bc	10,24±0,2809bc
SR	91,67±2,517bc	92,00±2,646bc	81,00±2,00a	90,33±3,055b

Keterangan: a,b,c,d = nota huruf pada baris yang sama serupa berarti tidak ada perbedaan nyata pada uji Duncan dengan tingkat nilai kepercayaan 5%

P1 = Kontrol

P2 = EM4 5%

P3 = Molase 10 %

P4 = EM4 5% dan Molase 10 %

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (ANOVA) pada Lampiran 8, lampiran 9, lampiran 10, dan lampiran 11 serta uji DMRT pada Tabel 6 menunjukkan nilai WRI keempat perlakuan tidak berbeda nyata ($\alpha > 5\%$) terhadap penambahan EM4 dan molase selama pemeliharaan. Pada pengujian ECD perlakuan 1, perlakuan 2 dan perlakuan 4 tidak berbeda nyata ($\alpha > 5\%$). Pada pengujian FCR, perlakuan 1, perlakuan 3 dan perlakuan 4 tidak berbeda nyata ($\alpha > 5\%$), perlakuan 1 dan perlakuan 2 tidak berbeda nyata ($\alpha > 5\%$). Pada SR, perlakuan 2, perlakuan 2, dan perlakuan 4 tidak berbeda nyata ($\alpha > 5\%$).

Nilai ECD, WRI, FCR dan SR pada penelitian ini dapat dikategorikan sudah peningkatan dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Hal ini dikarenakan adanya peningkatan dibandingkan dengan penelitian Mentari PD (2018), hasil penelitian yang dilakukan oleh Mentari menghasilkan rata-rata nilai ECD yang didapat lebih rendah daripada penelitian ini. Hal ini menunjukkan bahwa menggunakan pakan dengan *feeding rate* 80% dan penambahan EM4 dan molase menghasilkan efisiensi konversi pakan menjadi biomassa larva yang optimal. Nilai ECD hanya besar pada media agregat dan tomat, namun memiliki nilai WRI dan SR yang rendah. Hal ini dapat terjadi karena bahan yang terlalu basah atau ventilasi yang kurang baik, sehingga menyebabkan kematian pada larva. Nilai WRI yang lebih tinggi menandakan bahwa perlakuan lebih optimal dalam mengurangi limbah. Nilai SR pada penelitian tersebut hanya baik pada perlakuan alpukat dan pisang, sedangkan pada pemberian yang lain memiliki nilai SR dibawah 50 %, bahkan pada pemberian timun hanya memiliki SR 15 %, ini menandakan bahwa larva sangat sensitif terhadap pakan yang diberikan. Hasil penelitian Mentari PD (2018) dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Nilai parameter karakteristik dekomposisi sampah

Parameter	Jenis							
	Sawi	Timun	Pisang	Wortel	Alpukat	Jambu	Tomat	Agregat
Reduksi (%)	45	41	42	63	57	61	43	58
WRI (%/hari)	3.0	2.7	2.8	4.2	3.8	4.1	2.9	3.9
ECD (%)	9	8	5	6	5	3	10	11
SR (%)	36	15	100	53	100	48	41	37

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Larva BSF adalah salah satu organisme yang mampu melakukan dekomposisi sampah organik dengan kemampuan beradaptasi yang baik terhadap lingkungan. Dari data hasil pengukuran suhu dan pH, larva dapat bertahan dari suhu media 30,23 °C - 34,43 °C dan suhu ruangan berkisar antara 31,70 °C – 35,50 °C. Larva juga dapat bertahan pada perubahan pH pada wadah, larva dapat bertahan pada media asam 4,7 dan media basa 9,4. Berdasarkan hasil pengukuran berat dan panjang, larva memiliki berat terbaik pada perlakuan 4 dan perlakuan 3 dengan berat tertinggi yaitu 16,18 gram (P4) dan 15,55 (P3). Sedangkan pertumbuhan larva terpanjang yaitu perlakuan 3 (21,73 mm) dan perlakuan 4 (21,30 mm). Pemberian molase sangat baik untuk menjadi nutrisi pada larva, dengan campuran EM4 larva akan lebih efisien dalam mencerna makanan.

Berdasarkan hasil analisis, perlakuan 2 menunjukkan kinerja terbaik dalam efisiensi pakan (FCR), pencernaan (ECD), dan kelangsungan hidup (SR), dengan nilai FCR terendah (9,95 %), ECD tertinggi (10,68 %), dan SR tertinggi (92%). Perlakuan 1 dan perlakuan 3 memiliki hasil yang serupa dalam hal pengurangan sampah (WRI) dengan nilai tertinggi (5,25 %), namun perlakuan 3 menunjukkan efisiensi konversi pakan yang lebih rendah (FCR 10,40 %) dan kelangsungan hidup yang lebih rendah (81%). Hal ini dapat dikarenakan kelebihan gula dan media terlalu basah. Oleh karena itu, perlu pengaturan dosis dan campuran perlakuan yang lebih tepat. Perlakuan 2 memberikan hasil yang lebih optimal dalam aspek efisiensi pakan, pencernaan, dan kelangsungan hidup larva, meskipun semua perlakuan menunjukkan efisiensi yang cukup baik dalam pengurangan sampah. Secara keseluruhan, pengaruh pemberian EM4 dan molase pada larva terhadap WRI, ECD, FCR cenderung minimal jika komposisi pakan dasarnya sudah memadai. Dampak pemberian EM4, molase dan kombinasi keduanya dapat terlihat dari bobot dan panjang larva dibandingkan dengan tanpa pemberian.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan butuh penelitian lanjutan mengenai variasi *feeding rate* serta penambahan EM4 dan molase untuk meningkatkan pertumbuhan, hasil dekomposisi dan kelangsungan hidup larva BSF. Diperlukan juga perhitungan penambahan biaya apabila menambahkan EM4 dan molase pada sampah. Perlunya penelitian lanjutan mengenai upaya mengatasi bau pada sampah organik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar Z, Irshad Z, Fareed I, Saleem A. 2015. Characterization and recycling of organic waste after co-composting-A review. *Journal of Agricultural Science*. 7(4): 68-79.
- Aswardi A, Gevira Z, Cindy C, Putri MD, Putri FH. 2020. Pemanfaatan tepung tapioka sebagai alternatif substitusi molase dalam budidaya ikan nila sistem bioflok di lahan suboptimal. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal*.8(1). 305-313.

- Barragan-Fonseca KB, Dicke M, Van-Loon JJ. 2017. Nutritional Value Of The Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) And Its Suitability As Animal Feed - A Review. *Jurnal Insects as Food Feed*. 3(2): 105– 120.
- Binta D, Wijana S, Febrianto AM. 2013. Pengaruh lama pemeraman terhadap kadar lignin dan selulosa pulp (kulit buah dan pelepah nipah) menggunakan biodegradator EM4. *Jurnal Industria*. 2(1):75-83.
- Diener S, Zurbrugg, Tockner Z. 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *SAGE publications*. 27(6): 603-610.
- Diener S. 2010. Valorisation of Organic Solid Waste using the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* L., in Low and Middle-Income Countries [Dissertation]. ETH Zurich: Zurich (CH).
- Diener S, Solano NM, Gutiérrez FR, Zurbrugg CT. 2011. Biological Treatment of Municipal Organic Waste using Black Soldier Fly Larvae. *Waste Biomass Valor*. Vol 2(1): 357-363.
- Djuarnani N, Kristian, Setiawan BS. 2005. *Cara Cepat Membuat Kompos*. Jakarta (ID): Agromedia Pustaka.
- Erickson MC, Islam M, Sheppard C, Liao J, Doyle MP. 2004. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar *Enteritidis* in chicken manure by larvae of the Black Soldier Fly. *J Food Prot*. 67:685-690.
- Firdausy MA, Mizwar A, Firmansyah M, FAzriansyah M. 2021. Pemanfaatan larva black soldier fly sebagai pereduksi sampah organik dengan variasi jenis sampah dan frekuensi feeding. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 7(2):120-130.
- Hartono R, Anggrainy AD, Bagastyo AY. 2021. Pengaruh komposisi sampah dan feeding rate terhadap proses biokonversi sampah organik oleh larva black soldier fly (bsf). *Jurnal Teknik Kimia Lingkungan*. 5(2):181-193.
- Jana IW, Mardani NK, Budiarsa Suyasa IW. (2006). Analisis karakteristik sampah dan limbah cair Pasar Badung dalam upaya pemilihan sistem pengelolaannya. *Ecotrophic*. 2(1):1-10,
- Kim W, Bae S, Park H, Park K, Lee S, Choi Y, Han S, Koh Y. 2010. The larval age and mouth morphology of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Int J Indust Entomol*. Vol 21(2):185-187.
- Lalander C, Diener S, Magri ME, Zurbrugg C, Lindstrom A, Vinneras B. 2013. Faecal sludge management with the larvae of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*)-from a hygiene aspect. *Sci Total Enviroment*. 458-460:312-318.
- Lalander CH, Diener S, Zurbrugg C, Vinneras B. 2019. Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetis illucens*). *Journal of Cleaner Production*. 208(2019): 211-219.
- Lohri CR, Diener S, Zabaleta A, Martenat A, Zurbrugg C. 2017. Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middle-income settings. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. 16: 81-130.
- Ma J, Lei Y, Rehman KU, Yu Z, Zhang J, Li W, Li Q, Tomberlin JK, and Zheng L. 2017. Dynamic effects of initial pH of substrate on biological growth and metamorphosis of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Environmental Entomology*. 47(1): 159-165.
- Madu AST, Hendriarianti E, Candra Dwi Ratna CD. 2022. Teknologi black soldier fly (bsf) dengan variasi pakan sampah organik. *Jurnal Enviro*, 1(1): 1-10.
- Mahardika TR. 2016. Teknologi Reduksi Sampah dengan Memanfaatkan Larva Black Soldier Fly (BSF) Di Kawasan Pasar Puspa Agro Sidoarjo [skripsi]. Surabaya(ID):Institut Teknologi Sepuluh Nopember,

- Marlina ET, Hidayati YA, Harlia E. 2011. *Pengaruh Penambahan Berbagai Starter Pada Proses Pengomposan Limbah Pasar Tradisional Terhadap Penurunan Jumlah Bakteri Total dan Koliform*. Bandung: Universitas Padjajaran.
- Mentari PD. 2018. Karakteristik dekomposisi sampah organik pasar tradisional menggunakan larva black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) [skripsi]. Bogor (ID) : IPB University.
- Meryandini A, Widosari W, Maranatha B, Sunarti TC, Rachmania N, Satria H. 2009. Isolasi bakteri selulolitik dan karakterisasi enzimnya. *Makara Sains* .13(1):33-38.
- Myers HM, Tomberlin JK, Lambert BD, Kattes D. 2008. Development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae fed dairy manure. *Environmental Entomology*. Vol 37(1): 11-15
- Newton L, Sheppard C, Watson DW, Burtle G, Dove R. 2005. *Using The Black Soldier Fly, Hermetia Illucens, As A Value-Added Tool For The Management Of Swine Manure*. California (US-CA): North California Animal and Poultry Waste Management Center.
- Nurhilal O, dan Suryaningsih S. 2018. Pengaruh komposisi campuran sabut dan tempurung kelapa terhadap nilai kalor biobriket dengan perekat molase. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*. 2(1): 8-14.
- Pemerintah Pusat. 2001. PP No. 74 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Bahan Berbahaya Dan Beracun [JDIH BPK RI]. Peraturan Pemerintah (PP) no 74. [Internet]. [Diunduh tanggal 14/11/2022]. Dapat diunduh dari: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/53080/pp-no-74-tahun-2001>.
- Palupi, N. P. 2015. Karakter Kimia Kompos dengan Dekomposer Mikroorganisme Lokal Asal Limbah Sayuran. *Jurnal Ziraah*, 40 (1): 54- 60.
- Popa R, Green T. 2012. *Biology and Ecology of the Black Soldier Fly*. Amsterdam (NL): DipTerra LCC e-Book.
- Rachmawati D, Samidjan I. 2013. Efektivitas Substitusi Tepung Ikan Dengan Tepung Maggot Dalam Pakan Buatan Terhadap Pertumbuhan Dan Kelulushidupan Ikan Patin. *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*. 9(1): 62-67.
- Rahmatullah R, Hasnudi, Mirwandhono E, Patriani P, Ginting N, Siregar GAW. 2020. The effects of fermentation time and em4 dose on nutrient content of kepok's peel as animal feed. *Journal of Physics: Conference Series*. 1(1):1-6.
- Samsuri M, Gozan R, Mardius M, Baiquni H, Hermansyah A, Wijanarko B, Prasetya, Nasikin. 2007. Pemanfaatan Selulosa Bagas untuk Produksi Ethanol Melalui Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak dengan Enzim Xylanase. *Jurnal Makara Teknologi*. 11(1):17-24.
- Scriber JM, Slansky F. 1981. Selected bibliography and summary of quantitative food utilization by immature insects. *Bulletin of the Entomological Society of America*. Vol 28(1): 43-55.
- Sigh A, Kumari K. 2019. An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using black soldier fly larvae: a review. *Journal of Environmental Management*. 251: 1-13.
- Sipayung PYE. 2015. Pemanfaatan Larva Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Sebagai Salah Satu Teknologi Reduksi Sampah di Daerah Perkotaan [skripsi]. Surabaya (ID): Teknologi Sepuluh Nopember.
- Siswati ND, Theodorus H, dan Eko PWS. 2009. Kajian penambahan effective microorganism (EM4) pada proses dekomposisi limbah padat industri kertas. *Buana Sains*. 9(1): 63-68.
- Suwarta. 2014. Feed conversion ratio (fcr) usaha ternak ayam brolier di kabupaten Sleman. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*. 8(2):131-139.

- Tomberlin JK, Sheppard DC. 2002. Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) in a colony. *J Entomol Sci.* Vol 37(4):345-352.
- Tomberlin JK, Adler PH, Myers HM. 2009. Development of the black soldier fly (Diptera: stratiomyidae) in relation to temperature. *Environmental Entomology.* 38(3): 930-934.
- Vattamparambil SR. 2012. Anaerobic Microbial Hydrolysis of Agriculture Waste for Biogas Production. *Journal of Computer Applications*, 25-27.
- Wardani AK, Pertiwi FNE. 2013. Produksi etanol dari tetes tebu oleh *Saccharomyces cerevisiae* pembentuk flok (NRRL-Y 265). *Agritech.* 33(2): 131- 139.
- Wardhana AH. 2016. Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) sebagai Sumber Protein Alternatif untuk Pakan Ternak. *Wartazoa.* 26(2): 069-078.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Agustus 2024 sampai bulan November 2024 ini dengan judul “Pengaruh Penambahan EM4 dan Molase Terhadap Pertumbuhan dan Efisiensi Pakan Larva *Black Soldier Fly*”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada, Prof. Dr. Ir. Sutrisno, M. Agr., Dr. Ir. Dyah Wulandani, dan Kania Amelia Safitri, ST, MT M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dalam penulisan karya ilmiah. Ucapan terimakasih juga kepada Staf tenaga akademik Departemen Teknik Mesin dan Biosistem atas bimbingan dan kerjasamanya yang telah diberikan kepada penulis.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.