

**Pengaruh Jenis Pakan Berbasis Sampah Organik Rumah
Tangga Berupa Sisa Nasi dan Tulang Ikan Nila terhadap
Komposisi Nutrien serta Pertumbuhan Larva *Black
Soldier Fly (Hermetia illucens L.)***

SKRIPSI



Albert Abrillian

31190337

**Program Studi Biologi
Fakultas Bioteknologi
Universitas Kristen Duta Wacana
Yogyakarta
2023**

**Pengaruh Jenis Pakan Berbasis Sampah Organik Rumah
Tangga Berupa Sisa Nasi dan Tulang Ikan Nila terhadap
Komposisi Nutrien serta Pertumbuhan Larva *Black
Soldier Fly (Hermetia illucens L.)***

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Program Studi Biologi, Fakultas Bioteknologi
Universitas Kristen Duta Wacana



Albert Abrillian

31190337

**Program Studi Biologi
Fakultas Bioteknologi
Universitas Kristen Duta Wacana
Yogyakarta
2023**

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI/TESIS/DISERTASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika Universitas Kristen Duta Wacana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Albert Abrillian
NIM : 31190337
Program studi : Biologi
Fakultas : Bioteknologi
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Kristen Duta Wacana Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“PENGARUH JENIS PAKAN BERBASIS SAMPAH ORGANIK RUMAH TANGGA BERUPA SISA NASI DAN TULANG IKAN NILA TERHADAP KOMPOSISI NUTRIEN SERTA PERTUMBUHAN LARVA *BLACK SOLDIER FLY* (*Hermetia illucens* L.)”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Kristen Duta Wacana berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama kami sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Yogyakarta
Pada Tanggal : 28 Juni 2023

Yang menyatakan



(Albert Abrillian)
NIM: 31190337

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul:

PENGARUH JENIS PAKAN BERBASIS SAMPAH ORGANIK RUMAH
TANGGA BERUPA SISA NASI DAN TULANG IKAN NILA TERHADAP
KOMPOSISI NUTRIEN SERTA PERTUMBUHAN LARVA *BLACK SOLDIER*
FLY (Hermetia illucens L.)

telah diajukan dan dipertahankan oleh:

ALBERT ABRILLIAN

31190337

dalam Ujian Skripsi Program Studi Biologi

Fakultas Bioteknologi

Universitas Kristen Duta Wacana

dan dinyatakan DITERIMA untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Sains pada tanggal 23 Juni 2023

Nama Dosen

1. Dr. Yekti Asih Purwestri, S.Si., M.Si.
(Ketua Tim Penguji)
2. Dwi Adityarini, S.Si., M.Biotech.
(Dosen Pembimbing I / Dosen Penguji II)
3. Kukuh Madyaningrana, S.Si., M.Biotech.
(Dosen Pembimbing II / Dosen Penguji III)

Tanda Tangan



Yogyakarta, 23 Juni 2023

Disahkan oleh:

Dekan,



Dr. Dhira Satwika, M.Sc.

NIK: 904E146

Ketua Program Studi,



Dwi Adityarini, S.Si., M.Biotech.

NIK: 214E556

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul : Pengaruh Jenis Pakan Berbasis Sampah Organik Rumah Tangga Berupa Sisa Nasi dan Tulang Ikan Nila terhadap Komposisi Nutrien serta Pertumbuhan Larva *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens* L.)

Nama Mahasiswa : Albert Abrillian

Nomor Induk Mahasiswa : 31190337

Hari/Tanggal Ujian : Jumat, 23 Juni 2023

Disetujui oleh:

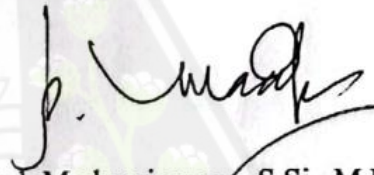
Pembimbing I

Pembimbing II



Dwi Adityarini, S.Si., M.Biotech.

NIK: 214E556



Kukuh Madyaningrana, S.Si., M.Biotech.

NIK: 214E555

Ketua Program Studi



Dwi Adityarini, S.Si., M.Biotech.

NIK: 214E556

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Albert Abrillian

NIM : 31190337

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

“Pengaruh Jenis Pakan Berbasis Sampah Organik Rumah Tangga Berupa Sisa Nasi dan Tulang Ikan Nila terhadap Komposisi Nutrien serta Pertumbuhan Larva *Black Soldier Fly (Hermetia illucens L.)*”

adalah hasil karya saya dan bukan merupakan duplikasi sebagian atau seluruhnya dari karya orang lain, yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu di dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya secara sadar dan bertanggung jawab dan saya bersedia menerima sanksi pembatalan skripsi apabila terbukti melakukan duplikasi terhadap skripsi atau karya ilmiah lain yang sudah ada.

Yogyakarta, 23 Juni 2023



Albert Abrillian

31190337

DUTA WACANA

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan anugerah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Jenis Pakan Berbasis Sampah Organik Rumah Tangga terhadap Komposisi Nutrien Larva *Black Soldier Fly (Hermetia illucens L.)*” dengan baik dan tepat pada waktunya. Adapun pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan, dukungan, masukan, dan saran yang disampaikan oleh berbagai pihak diantaranya:

1. Ibu Dwi Aditiyarini, S.Si., M.Biotech. selaku dosen pembimbing utama dan Bapak Kukuh Madyaningrana, S.Si., M.Biotech. selaku dosen pembimbing pendamping atas segala masukan, saran, dan bimbingannya selama proses penyusunan tugas akhir.
2. Orang tua dan segenap keluarga besar atas dukungan dalam penyusunan tugas akhir.
3. Kak Lawrence Billy Vasco Djama, S.Si. atas saran dan masukan selama penyusunan tugas akhir.
4. Teman, sahabat, dan saudara lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu atas segala dukungan selama penyusunan tugas akhir.

Penulis menyadari dalam penyusunan tugas akhir ini tidak luput dari kesalahan maupun kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan dan menerima segala bentuk saran dan kritik dari pembaca guna dijadikan sebagai pedoman penulis kedepannya. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Yogyakarta, 23 Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL DEPAN	i
HALAMAN SAMPUL DALAM	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Hipotesis	5
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Morfologi dan Klasifikasi Lalat Tentara Hitam	6
2.2. Siklus Hidup Lalat Tentara Hitam	8
2.2.1. Fase Telur.....	9
2.2.2. Fase Larva	10
2.2.3. Fase Pupa	11
2.2.4. Fase Lalat	12
2.3. Kondisi Optimal Perkembangan Lalat Tentara Hitam	13
2.3.1. Kondisi Substrat	14

2.3.2.	Kepadatan Larva	16
2.3.3.	Suhu Lingkungan	16
2.3.4.	Kelembapan Relatif.....	18
2.3.5.	Intensitas Cahaya	18
2.4.	Kajian Manfaat Larva BSF	19
2.4.1.	Dekomposisi Sampah Organik.....	19
2.4.2.	Sebagai Pakan Ternak Alternatif	22
2.4.3.	Potensi Bahan Pangan “Masa Depan”	23
2.5.	Jenis Pakan Umum dalam Budidaya Larva BSF	23
BAB III	.....	25
METODOLOGI	.....	25
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	25
3.1.1.	Perincian Waktu Penelitian (<i>Time Schedule</i>).....	25
3.2.	Bahan	26
3.3.	Alat.....	26
3.4.	Desain Penelitian	27
3.4.1.	Jenis Rancangan Percobaan dalam Penelitian.....	27
3.5.	Bagan Alir Penelitian	28
3.6.	Pelaksanaan Penelitian	28
3.6.1.	Preparasi Pra-Penelitian	28
3.6.2.	Penetasan Telur Lalat Tentara Hitam.....	29
3.6.3.	Pemeliharaan Larva BSF.....	30
3.6.4.	Determinasi Larva BSF.....	30
3.6.5.	Pengukuran Parameter Abiotik	31
3.6.6.	Perhitungan Parameter Pertumbuhan.....	31
3.6.7.	Analisis Proksimat Larva BSF II	32
3.6.8.	Analisis Data Hasil Penelitian.....	33
BAB IV	.....	34
HASIL DAN PEMBAHASAN	.....	34
4.1.	Determinasi Larva BSF	34
4.2.	Komposisi Nutrien Pakan Larva BSF	35
4.3.	Pertumbuhan Larva BSF	36

4.3.1.	Nutrien Larva BSF	36
4.3.2.	Biomassa Larva BSF.....	42
4.3.3.	<i>Survival Rate</i>	49
4.3.4.	<i>Substrate Reduction</i>	53
4.3.5.	<i>Waste Reduction Index</i>	58
4.3.6.	<i>Efficiency of Conversion of Digested Food</i>	61
4.4.	Kondisi Lingkungan Pemeliharaan Larva BSF	65
4.4.1.	Temperatur	65
4.4.2.	Kelembapan	69
4.4.3.	Nilai pH.....	73
BAB V	.....	77
SIMPULAN DAN SARAN	.....	77
5.1.	Kesimpulan	77
5.2.	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	.....	79
LAMPIRAN	.....	93



DAFTAR TABEL

Nomor Tabel	Judul Tabel	Halaman
Tabel 2.1	Klasifikasi Ilmiah Lalat Tentara Hitam.....	6
Tabel 2.2	Pengaruh Substrat terhadap Persentase Nutrisi Larva BSF.....	8
Tabel 2.3	Perbandingan Emisi GHGs antara Pengomposan Larva BSF dengan Konvensional	20
Tabel 3.1	Perincian Jadwal Penelitian.....	25
Tabel 3.2	Tabulasi Data Penelitian.....	27
Tabel 4.1	Rangkuman Uji Lanjutan Duncan Biomassa Larva BSF.....	44
Tabel 4.2	Rangkuman Uji Lanjutan Duncan Biomassa Absolut Larva BSF	46
Tabel 4.3	Rangkuman Uji Lanjutan Duncan <i>Substrate Reduction</i>	54
Tabel 4.4	Rangkuman Uji Lanjutan Duncan <i>Waste Reduction Index</i>	59
Tabel 4.5	Rangkuman Uji Lanjutan Duncan <i>Efficiency of Conversion of Digested Food</i>	63



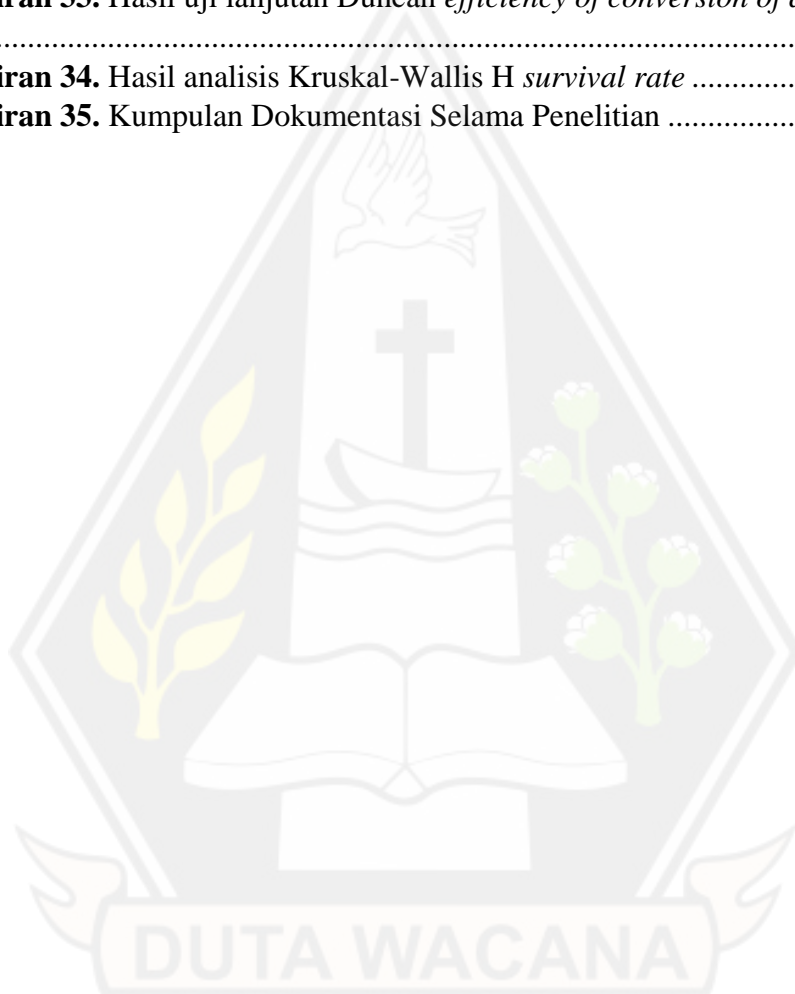
DAFTAR GAMBAR

Nomor Gambar	Judul Gambar	Halaman
Gambar 2.1	Siklus Hidup Lalat Tentara Hitam.....	9
Gambar 2.2	Larva Lalat Tentara Hitam.....	11
Gambar 2.3	Fase Pupa.....	12
Gambar 2.4	Lalat Tentara Hitam (<i>Hermetia illucens</i>).....	13
Gambar 2.5	Kajian Persyaratan Optimal Perkembangan Lalat Tentara Hitam... 13	13
Gambar 2.6	Diagram Alur Pengolahan dan Produk Sampingan Larva BSF.....	21
Gambar 3.1	Ilustrasi Kandang Pemeliharaan: kandang pemeliharaan larva BSF (a); tampak samping (b); tampak atas (c)	30
Gambar 4.1	Identifikasi <i>Hermetia illucens</i> : bagian dorsal larva BSF (a); imago (b)	34
Gambar 4.2	Komposisi Beberapa Jenis Pakan Larva BSF.....	35
Gambar 4.3	Nilai Nutrien Larva BSF Sebelum dan Sesudah Perlakuan Pakan (Kontrol, Sisa Nasi, Tulang Ikan Nila, dan Kombinasi) selama 12 Hari.....	37
Gambar 4.4	Biomassa Larva BSF pada Perlakuan Pakan Kontrol, Sisa Nasi, Tulang Ikan Nila, dan Kombinasi selama 12 Hari	43
Gambar 4.5	Pertambahan Biomassa Absolut Larva BSF pada Perlakuan Pakan Kontrol, Sisa Nasi, Tulang Ikan Nila, dan Kombinasi selama 12 Hari	45
Gambar 4.6	Persentase Kehidupan Larva BSF pada Perlakuan Pakan Kontrol, Sisa Nasi, Tulang Ikan Nila, dan Kombinasi selama 12 Hari.....	49
Gambar 4.7	Penurunan Kuantitas Pakan oleh Larva BSF pada Perlakuan Pakan Kontrol, Sisa Nasi, Tulang Ikan Nila, dan Kombinasi selama 12 Hari	53
Gambar 4.8	Nilai <i>Waste Reduction Index</i> oleh Larva BSF pada Perlakuan Pakan Kontrol, Sisa Nasi, Tulang Ikan Nila, dan Kombinasi selama 12 Hari	58
Gambar 4.9	Nilai <i>Efficiency of Conversion of Digested Food</i> Larva BSF pada Perlakuan Pakan Kontrol, Sisa Nasi, Tulang Ikan Nila, dan Kombinasi selama 12 Hari.....	62
Gambar 4.10	Pengukuran Temperatur Udara selama 12 Hari.....	66
Gambar 4.11	Pengukuran Temperatur Ragam Pakan yang Digunakan dalam Penelitian.....	66
Gambar 4.12	Pengukuran Kelembapan Udara selama 12 Hari	70
Gambar 4.13	Pengukuran Kelembapan Ragam Pakan yang Digunakan dalam Penelitian.....	70
Gambar 4.14	Pengukuran Nilai pH Ragam Pakan yang Digunakan dalam Penelitian.....	74

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Judul Lampiran	Halaman
Lampiran 1.	Hasil Determinasi Larva BSF	93
Lampiran 2.	Analisis Proksimat Pakan & Larva Lalat Tentara Hitam Umur 12 Hari.....	94
Lampiran 3.	Analisis Proksimat Larva Lalat Tentara Hitam Setelah Perlakuan.	95
Lampiran 4.	Pengukuran Suhu dan Kelembapan Udara	96
Lampiran 5.	Pengukuran Suhu Media Pakan	97
Lampiran 6.	Pengukuran Kelembapan Media Pakan	98
Lampiran 7.	Pengukuran Nilai pH Media Pakan	99
Lampiran 8.	Penimbangan Biomassa Larva Lalat Tentara Hitam	100
Lampiran 9.	Catatan Berat Residu Selama Penelitian.....	101
Lampiran 10.	Perhitungan Nilai <i>Substrate Reduction</i>	102
Lampiran 11.	Perhitungan Nilai <i>Waste Reduction Index</i>	103
Lampiran 12.	Perhitungan Nilai <i>Efficiency of Conversion of Digested Food</i> ...	104
Lampiran 13.	Perhitungan Jumlah Sintasan Larva Lalat Tentara Hitam Selama Penelitian.....	105
Lampiran 14.	Perhitungan Besaran <i>Survival Rate</i>	106
Lampiran 15.	Hasil analisis One-Sample T Test kandungan nutrisi larva lalat tentara hitam.....	107
Lampiran 16.	Hasil analisis korelasi Spearman antara suhu udara dengan suhu pakan	108
Lampiran 17.	Hasil analisis korelasi Spearman antara suhu udara dengan kelembapan pakan.....	108
Lampiran 18.	Hasil analisis korelasi Spearman dan regresi linear sederhana antara nutrisi pakan dengan <i>survival rate</i>	109
Lampiran 19.	Hasil analisis korelasi Spearman antara nutrisi pakan dengan biomassa larva BSF.....	109
Lampiran 20.	Hasil analisis korelasi Pearson antara nutrisi larva BSF dengan biomassa larva BSF.....	110
Lampiran 21.	Hasil analisis korelasi Pearson antara nutrisi larva BSF dengan <i>substrate reduction</i>	110
Lampiran 22.	Hasil analisis korelasi Spearman antara faktor abiotik dengan <i>substrate reduction</i>	110
Lampiran 23.	Hasil analisis korelasi Spearman antara faktor abiotik dengan <i>survival rate</i>	112
Lampiran 24.	Hasil analisis One-Way ANOVA biomassa akhir larva BSF.....	113
Lampiran 25.	Hasil uji lanjutan Duncan biomassa akhir larva BSF	114
Lampiran 26.	Hasil analisis One-Way ANOVA penambahan biomassa larva BSF	115
Lampiran 27.	Hasil uji lanjutan Duncan penambahan biomassa larva BSF	115

Lampiran 28. Hasil analisis One-Way ANOVA & Kruskal-Wallis H <i>substrate reduction</i>	116
Lampiran 29. Hasil uji lanjutan Duncan <i>substrate reduction</i>	117
Lampiran 30. Hasil analisis One-Way ANOVA & Kruskal-Wallis H <i>waste reduction index</i>	118
Lampiran 31. Hasil uji lanjutan Duncan <i>waste reduction index</i>	119
Lampiran 32. Hasil analisis One-Way ANOVA & Kruskal-Wallis H <i>efficiency of conversion of digested food</i>	120
Lampiran 33. Hasil uji lanjutan Duncan <i>efficiency of conversion of digested food</i>	121
Lampiran 34. Hasil analisis Kruskal-Wallis H <i>survival rate</i>	121
Lampiran 35. Kumpulan Dokumentasi Selama Penelitian	122



ABSTRAK

Pengaruh Jenis Pakan Berbasis Sampah Organik Rumah Tangga Berupa Sisa Nasi dan Tulang Ikan Nila terhadap Komposisi Nutrien serta Pertumbuhan Larva *Black Soldier Fly (Hermetia illucens L.)*

ALBERT ABRILLIAN

Produksi sampah organik yang berkelanjutan masih menjadi salah satu topik permasalahan di Indonesia. Keberadaan sampah organik tidak luput dari aktivitas harian rumah tangga. Pengelolaan sampah organik secara konvensional seperti *open dumping* dan pengomposan berpotensi memunculkan persoalan baru sehingga dianggap kurang ramah lingkungan. Larva lalat tentara hitam (*black soldier fly / BSF*) merupakan dekomposer yang berpotensi dijadikan sebagai alternatif pengelolaan sampah organik. Larva BSF mendapat asupan nutrisi melalui proses dekomposisi sampah organik, tetapi belum terdapat informasi tentang dampak jenis pakan terhadap nutrien dan pertumbuhan larva BSF. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dampak kualitas pakan berbasis sampah organik rumah tangga terhadap nutrien larva BSF lengkap dengan parameter pertumbuhan larva. Pertumbuhan larva BSF dievaluasi dengan empat perlakuan: pakan T51 (kontrol), sisa nasi, tulang ikan nila, dan kombinasi sisa nasi dan tulang ikan nila (50:50). Hasil penelitian menunjukkan terdapat dampak antara nutrien pakan dengan nutrien larva BSF. Larva BSF pada perlakuan tulang ikan nila berpotensi dijadikan alternatif pakan unggas, sedangkan larva BSF pada perlakuan sisa nasi berpotensi dijadikan sebagai alternatif pakan ikan. Tidak terdapat perbedaan signifikan antara biomassa dan waktu pertumbuhan larva BSF pada perlakuan kombinasi dan T51, walaupun perlakuan kombinasi menghasilkan larva BSF dengan biomassa terbesar dan waktu pertumbuhan tersingkat. Kuantitas pengurangan pakan terbesar didapatkan pada perlakuan T51. Besaran kuantitas yang sama diperoleh pada perlakuan kombinasi. Persentase kehidupan larva BSF pada seluruh perlakuan uji tidak berbeda signifikan. Adapun kondisi lingkungan tidak berpengaruh secara nyata terhadap pertumbuhan larva BSF.

Kata kunci: jenis pakan, larva BSF, nutrien, parameter pertumbuhan, sampah organik

ABSTRACT

The Effect of Household Organic Waste-Based Feed Types in the Form of Leftover Rice and Tilapia Bones on Nutrient Composition and Growth of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) Larvae

ALBERT ABRILLIAN

Sustainable organic waste production is still one of the problem topics in Indonesia. The existence of organic waste does not escape from daily household activities. Conventional management of organic waste such as open dumping and composting has the potential to cause new problems until it is considered less environmentally friendly. Black soldier fly (BSF) larvae are decomposers that have the potential to be used as an alternative to organic waste management. BSF larvae receive nutrients through the process of decomposition of organic waste, but there is no information about the impact of feed types on nutrients and growth of BSF larvae. This study aims to determine the impact of feed quality based on household organic waste on BSF larval nutrients and growth parameters. BSF larval growth was evaluated with four treatments: T51 feed (control), leftover rice, tilapia bones, and combination leftover rice and tilapia bones (50:50). There was an impact between feed nutrients and BSF larval nutrients. The tilapia bone treatment produces BSF larvae that can be used as poultry feed, while BSF larvae in the treatment of leftover rice as fish feed. The biomass and growth time of BSF larvae in the T51 treatment and combination did not differ significantly, although the combination treatment produces the largest biomass and the shortest growth time. The highest substrate reduction was obtained in T51 treatment, even in combination treatment. Survival rate of BSF larval in all treatments was not differ significantly. Environmental conditions have no effect on the growth of BSF larvae.

Keywords: BSF larvae, feed type, growth parameters, nutrients, organic waste

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Permasalahan sampah di Indonesia masih menjadi kasus tersendiri yang sulit terselesaikan akibat tingginya produksi sampah oleh masyarakat. Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2023, produksi sampah pada tahun 2022 oleh 156 kota se-Indonesia didapatkan sebesar \pm 18 juta ton/tahun dengan persentase jenis sampah terbanyak diketahui berupa sampah organik, yakni sisa makanan (41%) yang mayoritas berasal dari rumah tangga. Sampah organik rumah tangga secara umum didefinisikan sebagai hasil sisa/buangan aktivitas manusia dalam mengolah bahan pangan, seperti sisa sayur, buah (kulit, tangkai, atau biji), daging, dan lain sebagainya yang bersifat organik atau dapat terdegradasi dengan sendirinya (Purnama, 2016). Minimnya penanganan sampah organik memicu adanya penumpukan sampah hingga kemunculan berbagai persoalan baru, diantaranya mengakibatkan bau busuk sehingga mengundang “kehadiran” berbagai vektor penyakit (tikus, lalat, kecoa, dan lain sebagainya) atau menjadi sarang pertumbuhan mikroba patogen (bakteri, virus, dan jamur); mengurangi nilai estetis kota; dan berpotensi mengontaminasi air tanah oleh air lindi akibat terpapar air hujan (Nugraha *et al.*, 2018).

Pengelolaan sampah organik dapat dilakukan melalui berbagai cara, seperti dibakar, dibuang ke sungai atau dikelola di tempat pemrosesan akhir (TPA) melalui metode penimbunan berupa *open dumping*, pengomposan, dan dijadikan sebagai biogas. Namun, seluruh teknik tersebut memiliki kekurangan atau batasan tersendiri, diantaranya membakar sampah secara langsung berpotensi menyebabkan pencemaran udara melalui pelepasan emisi gas rumah kaca ke atmosfer (N_2O , CO_2 , dan CH_4) sekaligus menyebabkan masalah kesehatan berupa gangguan pernapasan (Pansuk *et al.*, 2018). Penimbunan sampah secara *open dumping* tidak serta-merta

aman dan efektif, sebab sampah hanya dibuang tanpa adanya perlakuan khusus, sehingga akan terbentuk cairan lindi melalui air hujan yang dapat merusak kualitas air tanah (Saputra *et al.*, 2020). Membuang sampah langsung ke sungai menyebabkan penurunan kualitas air akibat adanya kontaminasi dari sampah (Bangani *et al.*, 2023). Teknik pengomposan membutuhkan waktu pengomposan dan mineralisasi yang terbilang lama, menghasilkan bau yang menyengat, minimnya kandungan nutrisi sehingga belum dapat menginisiasi pertumbuhan tanaman, serta berpotensi mengandung mikroba patogen, baik itu bakteri dan/atau jamur (Ayilara *et al.*, 2020). Konversi sampah organik menjadi biogas membutuhkan biaya konstruksi dan perawatan yang tinggi guna mencegah adanya kebocoran pada digester biogas (Sriharti *et al.*, 2018).

Adapun terdapat strategi alternatif yang dapat digunakan dalam mengolah sampah organik, yaitu dengan memanfaatkan larva lalat tentara hitam (larva BSF). Larva BSF merupakan fase larva dari lalat tentara hitam dengan kemampuannya yang efektif dalam menguraikan sampah organik hingga 50% dari berat awal dalam kurun waktu yang lebih cepat daripada melalui pengomposan secara konvensional (Amrul *et al.*, 2022). Larva BSF dapat menguraikan berbagai jenis sampah organik seperti sampah dapur, sayuran, buah-buahan, dan kotoran manusia/hewan dengan kadar air 60-90% (Yuwono & Mentari, 2018). Pengolahan sampah organik dengan larva BSF diketahui dapat mengurangi kuantitas bakteri patogen dalam sampah tersebut, seperti *Escherichia coli* dan *Salmonella enterica* melalui sekresi senyawa antibakteri berupa *defensins* dan *cecropins* (Diyantoro *et al.*, 2022; Kooienga *et al.*, 2020). Larva BSF dapat dengan mudah hidup pada berbagai jenis substrat organik sebab larva tersebut diketahui memiliki toleransi yang cukup tinggi terhadap fluktuasi kondisi lingkungan sehingga tidak membutuhkan persyaratan khusus dalam pemeliharaannya (Siddiqui *et al.*, 2022; Shumo *et al.*, 2019). Tingkat keamanan penggunaan larva BSF sebagai agen pengurai sampah organik sudah tidak perlu diragukan, sebab tidak adanya laporan terkait vektor penyakit bagi manusia maupun

ancaman bagi lingkungan (Siddiqui *et al.*, 2022). Kemampuan larva BSF dalam menguraikan bahan organik didasarkan pada keberadaan mikroorganisme di dalam usus, yakni *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus* sp., *Proteus* sp., dan *Ruminococcus* sp. (Kresnawaty *et al.*, 2019; Supriyatna & Ukit, 2016; Yu *et al.*, 2011).

Substrat atau karakteristik pakan yang baik bagi larva BSF yaitu bahan dengan tinggi kandungan protein dan karbohidrat guna mendukung perkembangan larva (Dortmans *et al.*, 2017). Menurut penelitian Aldi *et al.* (2018), tinggi rendahnya kadar protein dan lemak larva BSF dipengaruhi oleh kandungan protein dan lemak pada substrat, tetapi tidak pada kadar airnya, yakni urutan sampah organik dari protein tertinggi hingga terendah tercatat pada substrat berupa darah ayam, limbah ikan, ampas tahu, dan bungkil kelapa sawit, sedangkan untuk urutan kandungan lemak tertinggi hingga terendah tercatat pada limbah ikan, ampas tahu, darah ayam, dan bungkil kelapa sawit. Adapun hasil analisis kandungan protein dan lemak pada larva BSF diketahui urutan kandungan protein dan lemak larva BSF tertinggi hingga terendah sama dengan urutannya pada substrat. Namun, ketersediaan seluruh substrat pada penelitian tersebut minim/jarang ditemukan pada limbah rumah tangga, tetapi secara umum banyak dijumpai pada limbah pasar daripada rumah tangga, serta tidak adanya informasi terkait pengaruh kondisi lingkungan terhadap kandungan nutrisi larva BSF. Penelitian lain oleh Nguyen *et al.* (2013), menyatakan bahwa terdapat perbedaan pertumbuhan larva BSF pada substrat yang berbeda. Walaupun diketahui data kandungan nutrisi substrat yang digunakan, tetapi penelitian Nguyen *et al.* (2013) tidak mencantumkan informasi terkait kandungan nutrisi pada larva BSF sehingga tidak dapat diketahui pengaruh kandungan nutrisi pada substrat terhadap nutrisi larva BSF, serta tidak adanya informasi terkait hubungan kondisi lingkungan terhadap pertumbuhan larva BSF.

Nasi merupakan bahan pangan pokok yang dikonsumsi masyarakat Indonesia sebagai sumber karbohidrat utama (Suryani *et al.*, 2016). Sebagai

sumber karbohidrat utama, ternyata jumlah karbohidrat yang terkandung pada nasi tergolong tinggi, yakni mencapai 80% dan dilengkapi oleh beberapa nutrisi lainnya, seperti protein (7-8%) dan lemak (3%) (Chaudhari *et al.*, 2018). Adapun nasi dijadikan sebagai salah satu limbah sisa rumah tangga terbesar, sebab biasanya nasi yang tidak termakan akan menjadi basi dan dibuang begitu saja, namun disisi lain, masyarakat umumnya memanfaatkan nasi basi atau sisa nasi yang tidak termakan untuk pakan ternak alternatif (Sriyundiyati *et al.*, 2013). Disisi lain, ikan merupakan salah satu bahan pangan sumber protein dengan tingkat kemudahan penyerapannya daripada daging ayam maupun sapi akibat pendeknya serat protein yang terkandung pada daging ikan (Prameswari, 2018). Ikan nila (*Oreochromis niloticus*) merupakan salah satu spesies ikan yang disukai oleh masyarakat sebab dagingnya tebal dengan rasa yang enak (Mulyani *et al.*, 2014). Kandungan nutrisi ikan Nila per 100 gram meliputi protein 43,76%, lemak 7,01%, kadar air 4,28%, dan kadar abu 6,80% (Saputra *et al.*, 2020). Tulang ikan umumnya dibuang begitu saja setelah ikan dikonsumsi, padahal tulang ikan itu sendiri mengandung berbagai kandungan nutrisi yang cukup tinggi, terutama protein sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai pakan ternak alternatif (Yuriandala *et al.*, 2020). Menurut Hemung (2013), kandungan protein dan lemak kasar (%) pada tulang ikan Nila dalam bentuk bubuk masing-masing sebesar $14,81 \pm 0,33$ dan $5,82 \pm 0,04$. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan guna mengidentifikasi komposisi nutrisi dan pertumbuhan larva BSF dengan variasi jenis pakan berbasis sampah organik rumah tangga berupa sisa nasi, tulang ikan nila, maupun gabungan keduanya yang telah diketahui kandungan nutrisinya sekaligus dampak parameter lingkungan terhadap pertumbuhan larva BSF.

1.2. Rumusan Masalah

- 1.2.1. Apakah jenis pakan berupa sisa nasi, tulang ikan nila, maupun gabungan keduanya berdampak terhadap kandungan nutrisi larva BSF ?

- 1.2.2. Apakah persentase kandungan nutrisi pakan dan larva BSF terbaik ?
- 1.2.3. Apakah jenis pakan berupa sisa nasi, tulang ikan nila, maupun gabungan keduanya berdampak terhadap pertumbuhan larva BSF ?
- 1.2.4. Apakah parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan nilai pH berpengaruh terhadap pertumbuhan larva BSF ?

1.3. Tujuan Penelitian

- 1.3.1. Mempelajari dampak jenis pakan berupa sisa nasi, tulang ikan nila, maupun gabungan keduanya terhadap kandungan nutrisi larva BSF.
- 1.3.2. Mengidentifikasi persentase kandungan nutrisi pakan dan larva BSF terbaik.
- 1.3.3. Mengidentifikasi dampak jenis pakan berupa sisa nasi, tulang ikan nila, maupun gabungan keduanya terhadap pertumbuhan larva BSF.
- 1.3.4. Mengidentifikasi pengaruh parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan nilai pH terhadap pertumbuhan larva BSF.

1.4. Manfaat Penelitian

Sebagai informasi bagi peneliti dan masyarakat akan potensi larva BSF dalam penanganan sampah organik rumah tangga. Terlebih lagi, sebagai dasar acuan atau informasi bagi pengembangan penelitian terkait pemanfaatan larva BSF.

1.5. Hipotesis

- H1:** Variasi jenis pakan berupa sisa nasi, tulang ikan nila, maupun gabungan keduanya berdampak pada nutrisi dan pertumbuhan larva BSF.
- H0:** Tidak terdapat dampak antara variasi jenis pakan berupa sisa nasi, tulang ikan nila, maupun gabungan keduanya terhadap nutrisi dan pertumbuhan larva BSF.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Morfologi dan Klasifikasi Lalat Tentara Hitam

Lalat Tentara Hitam atau yang lebih dikenal sebagai *black soldier fly* (BSF) (*Hermetia illucens* Linnaeus) merupakan salah satu spesies lalat yang tergolong ke dalam famili Stratiomyidae, di mana keberadaannya banyak ditemukan di negara beriklim tropis dan subtropis (da Silva & Hesselberg, 2019). Secara alamiah, lalat tentara hitam banyak dijumpai di sekitar tumpukan kotoran ternak (unggas, sapi, dan babi), sehingga dijuluki sebagai “larva jamban” (van Huis *et al.*, 2013). Walaupun habitat alami lalat tentara hitam berupa sampah atau kotoran, namun lalat tersebut tidak tertarik untuk hinggap pada makanan sebab lalat dewasa tidak makan akibat tidak adanya bagian mulut dan organ pencernaan (Amrul *et al.*, 2022). Dari segi morfologi, panjang tubuh lalat tentara hitam berkisar antara 15-20 mm dengan abdomen berwarna perunggu pada lalat jantan dan coklat kemerahan pada lalat betina (Kumar *et al.*, 2018). Adapun taksonomi lalat tentara hitam tercantum pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Klasifikasi Ilmiah Lalat Tentara Hitam (Woodley, 2001)

Kingdom	Animalia
Filum	Arthropoda
Kelas	Insecta
Ordo	Diptera
Famili	Stratiomyidae
Genus	<i>Hermetia</i>
Spesies	<i>Hermetia illucens</i> L.

Adapun lalat tentara hitam (*black soldier fly* / BSF) tersebar secara luas di berbagai negara. Secara garis besar, *black soldier fly* tersebar di wilayah *Nearctic* (Amerika, California, Florida, Indiana, Texas, Virginia, dan lain-lain), *Neotropical* (Argentina, Brazil, Chili, Haiti, Jamaika, Meksiko, Peru, dan lain-lain), *Palaearctic* (Kroasia, Perancis, Italia, Jepang, Spanyol, Switzerland, dan lain-lain), *Afrotropical* (Ghana, Kenya, Madagaskar,

Afrika Selatan, Tanzania, Zambia, dan lain-lain), Asia (India, Indonesia, Malaysia, Nepal, Filipina, Taiwan, Thailand, Vietnam, dan lain-lain), dan Australia (Woodley, 2001).

Larva lalat tentara hitam (larva BSF) merupakan fase larva dari hasil penetasan telur lalat tentara hitam dengan panjang ± 2 sampai 5 mm dan mampu berkembang hingga ± 20 sampai 25 mm yang ditandai melalui adanya pergantian kulit dari putih menjadi coklat hingga kehitaman seiring perkembangannya (Wahyuni *et al.*, 2021). Selama perkembangannya, larva BSF secara aktif “memakan” atau menguraikan sampah organik dengan bantuan mulutnya yang kuat serta tingginya aktivitas enzimatik pada bagian usus akibat keberagaman mikroorganisme didalamnya (Cho *et al.*, 2020). Bagian mulut larva BSF pada bagian dorsal terdapat labrum yang panjang dengan ujung runcing, sementara tampak ventral terlihat *mandibular-maxillary complex*. *Mandibular* tampak berbentuk seperti kemoceng yang dilengkapi dengan bulu-bulu panjang dan *maxillary palps* berbentuk seperti kerucut panjang. Ketika larva BSF sedang makan, maka kompleks tersebut akan bergerak secara vertikal dan gerakan berulang bertujuan untuk mengumpulkan materi organik yang membusuk (Kim *et al.*, 2010). Terkait aktivitas enzimatik, bagian usus larva terdapat enzim berupa amilase, protease, lipase (Kim *et al.*, 2011), dan selulase yang disekresikan oleh beragam bakteri amilolitik, proteolitik, lipolitik, dan selulolitik berupa *Bacillus subtilis*, *Bacillus thuringiensis*, *Bacillus* spp., *Campylobacter* spp., *Dysgonomonas* spp., *Issatchenkia* spp., *Lactobacillus* spp., *Lysinibacillus sphaericus*, *Pediococcus* spp., *Proteus* sp., dan *Ruminococcus* sp. (Yu *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2021; Supriyatna & Ukit, 2016). Secara alamiah, larva BSF berperan sebagai dekomposer sampah organik, namun juga dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak alternatif karena kaya akan kandungan protein (da Silva & Hesselberg, 2019).

Larva BSF merupakan salah satu spesies larva yang tinggi kandungan protein serta lemak. Kandungan nutrisi pada tubuh larva dipengaruhi oleh keberadaan nutrisi pada substrat atau pakan larva tersebut (Monteiro dos

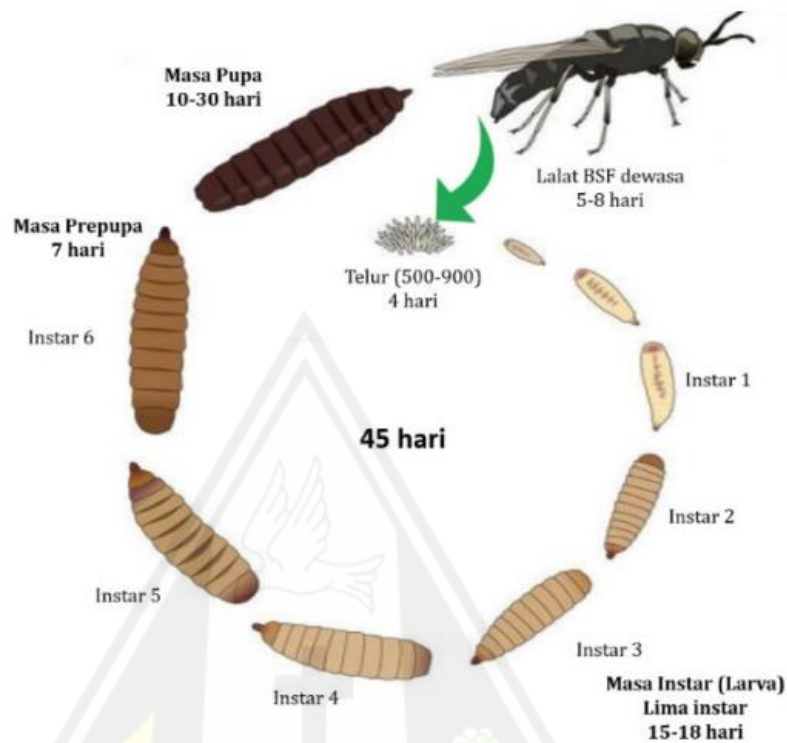
Santos *et al.*, 2023). Menurut Gold *et al.* (2018) dan Jucker *et al.* (2017), lama waktu yang dibutuhkan larva BSF dalam perkembangannya ditentukan oleh kandungan nutrisi pakan. Pakan yang memiliki kandungan protein rendah akan memperpanjang waktu perkembangan larva. Namun, ketika pakan mengandung komposisi karbohidrat yang cukup, maka perkembangan larva dapat dipersingkat karena kebutuhan energi utama berasal dari karbohidrat yang diikuti oleh lemak.

Tabel 2.2 Pengaruh Substrat terhadap Persentase Nutrisi Larva BSF (Amrul *et al.*, 2022)

Substrat	Persentase Nutrisi Larva BSF (%)	
	Protein Kasar	Lemak
Sisa sayur dan buah	39,9	30,8
Pakan ayam	41,2	33,6
Kotoran sapi	41,2	35,7
Kotoran babi	42,8	36,5
Limbah rumah makan	43,1	38,6

2.2. Siklus Hidup Lalat Tentara Hitam

Perkembangan lalat tentara hitam termasuk ke dalam *holometabola* atau metamorfosis sempurna, sebab dalam siklusnya melewati empat fase utama, yakni fase telur, larva, pupa, dan imago (Wahyuni *et al.*, 2021). Apabila dirata-rata, lama waktu perkembangan yang dibutuhkan dari telur menjadi lalat dewasa yaitu sekitar 40 hingga 43 hari, namun lama waktu perkembangan bersifat fluktuatif sebab ditentukan oleh kondisi lingkungan (Tomberlin *et al.*, 2009; Tomberlin *et al.*, 2002). Berikut merupakan perincian siklus hidup lalat tentara hitam, mulai dari fase telur hingga lalat dewasa (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Siklus Hidup Lalat Tentara Hitam (Sebayang *et al.*, 2022)

2.2.1. Fase Telur

Telur merupakan fase permulaan kehidupan lalat tentara hitam yang dihasilkan dari lalat betina dengan perbedaan kuantitas per individu. Menurut Rachmawati *et al.* (2010), lalat betina mampu bertelur dengan jumlah kisaran antara 185 hingga 1235 butir telur, sementara penelitian lain menyebutkan bahwa kisaran jumlah telur yang dapat dihasilkan dari satu individu lalat betina berkisar antara 206 hingga 639 butir telur (Tomberlin *et al.*, 2002). Berat massa telur dapat mencapai $\pm 15,8$ sampai 19,8 mg sedangkan berat per satu butir mencapai 26 sampai 30 μg . Rentang waktu penetasan telur berlangsung selama 3 sampai 4 hari dengan warna putih (berumur 1 hari) dan putih kekuningan (ketika hendak menetas). Momentum penetasan akan lebih cepat pada suhu hangat daripada suhu yang lebih rendah (Wahyuni *et al.*, 2021).

2.2.2. Fase Larva

Penetasan telur menghasilkan larva instar satu dengan panjang \pm 2 mm berwarna putih. Larva akan terus bertumbuh hingga instar enam (panjang \pm 20-25 mm) (Gambar 2.2) yang ditandai dengan adanya perbedaan warna kulit menjadi coklat dalam kurun waktu 13 sampai 18 hari (Amrul *et al.*, 2022; Wahyuni *et al.*, 2021). Selama fase tersebut, larva akan secara aktif “memakan” atau mendekomposisi berbagai sampah organik, diantaranya kotoran manusia atau ternak (ayam, babi, dan sapi), sampah organik rumah tangga atau perkotaan, sisa makanan, sayur ataupun buah yang membusuk, limbah tanaman, dan limbah hasil pengolahan makanan (Liu *et al.*, 2019; Diener *et al.*, 2011). Menurut Makkar *et al.* (2014), satu individu larva mampu memakan materi organik pada kisaran 25 hingga 500 mg per hari, dengan panjang larva terbesar mencapai 27 mm, lebar 6 mm, dan berat 220 mg ketika mencapai instar enam. Tingkat konsumsi atau nafsu makan larva akan meningkat secara signifikan setelah memasuki instar tiga dan berhenti untuk makan pada saat instar enam (Liu *et al.*, 2019). Fase larva dari lalat tentara hitam merupakan salah satu fase yang menentukan dalam kelangsungan hidup lalat nantinya. Larva BSF akan terus memakan atau mendekomposisi sampah organik guna menunjang pertumbuhan dan perkembangannya hingga menjadi prepupa yang telah tercukupi dari segi nutrisi (Wahyuni *et al.*, 2021).

Ketika nutrisi sudah cukup untuk memasuki fase pupa, maka terlebih dahulu larva akan memasuki fase prepupa (larva tua) selama \pm 7 hari yang ditandai dengan perilakunya yaitu menjauh dari sumber pakan guna mencari tempat yang kering sekaligus aman untuk menjadi pupa sembari mengosongkan saluran pencernaannya. Perilaku tersebut disebut sebagai *self-harvesting* (Amrul *et al.*, 2022). Berdasarkan penelitian Tomberlin *et al.* (2009), suhu media dapat mempengaruhi perkembangan larva menuju fase prepupa

dengan suhu 30°C sebagai suhu optimum perkembangan larva, sebab suhu yang lebih rendah (27°C) ataupun lebih tinggi (36°C) dapat memperlambat proses perkembangan larva menjadi prepupa. Menurut Giannetti *et al.* (2022), prepupa dapat dengan mudah diketahui melalui perubahan warna kulit menjadi lebih gelap atau berwarna coklat tua dengan bagian mulut yang mengecil.



Gambar 2.2 Larva Lalat Tentara Hitam (Terrell & Ingwell, 2022)

2.2.3. Fase Pupa

Sesudah larva berubah menjadi prepupa, maka selanjutnya prepupa akan memasuki fase pupa/kepompong yang ditandai dengan perubahan warna menjadi hitam dan tidak adanya aktivitas pergerakan ataupun makan (Gambar 2.3). Perubahan larva menjadi pupa umumnya terjadi ketika larva berumur \pm 18 hingga 21 hari dan waktu yang dibutuhkan selama menjadi pupa berlangsung selama 7-8 hari (Wahyuni *et al.*, 2021). Penelitian lain menyebutkan bahwa durasi waktu yang dibutuhkan selama menjadi pupa berkisar antara 10 hari hingga beberapa bulan (Amrul *et al.*, 2022; De Smet *et al.*, 2018). Menurut Tomberlin *et al.* (2009), suhu media dapat mempengaruhi durasi perkembangan pupa dengan suhu 30°C sebagai suhu optimum yang dibutuhkan pupa, sebab suhu yang lebih rendah (27°C) dapat memperpanjang durasi perkembangan pupa,

sementara suhu yang lebih tinggi (36°C) membuat pupa tidak mampu bertahan atau mati.



Gambar 2.3 Fase Pupa (Park, 2016)

2.2.4. Fase Lalat

Penetasan pupa/kepompong menghasilkan lalat tentara hitam (*black soldier fly*) (Gambar 2.4) yakni fase akhir dari siklus kehidupan lalat. Adapun peran alami lalat tersebut di alam hanya untuk kawin (bagi jantan) atau bertelur (bagi betina) dengan masa hidup \pm 5 sampai 8 hari, setelahnya akan mati (Amrul *et al.*, 2022; Wahyuni *et al.*, 2021). Menurut Tomberlin *et al.* (2002), kematian lalat betina sesudah bertelur terjadi akibat kurangnya kandungan lemak dalam tubuh, sebab selama kehidupan lalat mengandalkan banyaknya lemak yang didapat selama menjadi larva untuk hidup maupun produksi telur, tetapi ketika masa perkawinan tertunda maka lemak yang ada akan dialokasikan dari produksi telur menjadi untuk memperpanjang masa hidup lalat betina tersebut. Umumnya dibutuhkan waktu 2 hari bagi lalat betina setelah perkawinan untuk menelur, kemudian lalat tersebut akan mati, sementara untuk lalat jantan dapat kawin sebanyak beberapa kali tergantung jumlah energi yang ada dan ketika energi tersebut telah menipis atau habis, maka lalat tersebut akan mati (Kobelski *et al.*, 2022). Menurut Gobbi *et al.* (2013), lalat BSF yang dipelihara pada substrat campuran antara pakan ayam dan tepung daging dapat meningkatkan kemampuan menelur, yaitu lalat betina memiliki ukuran tubuh lebih besar dan

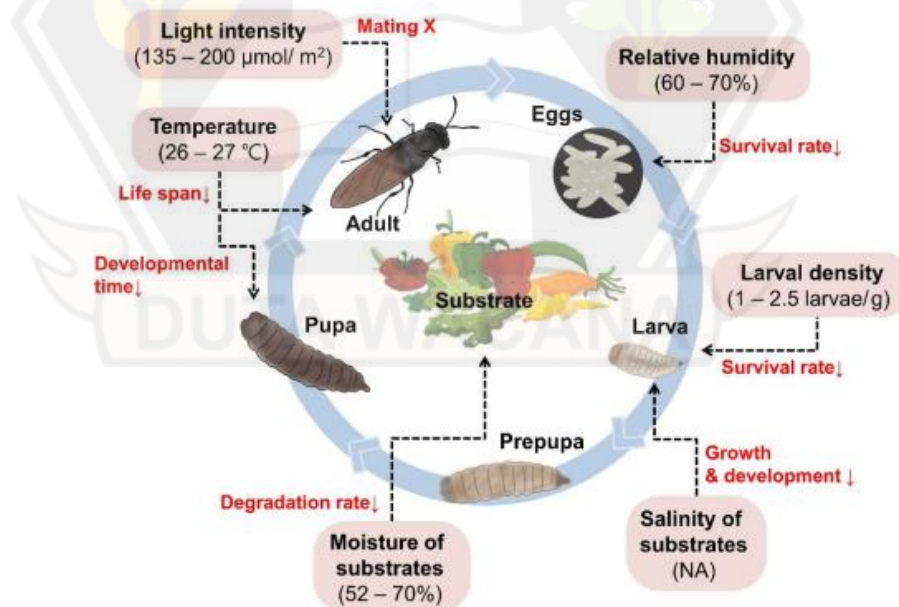
ovarium yang lebih besar pula sehingga dapat bertelur lebih banyak daripada lalat betina yang dipelihara pada substrat tunggal berupa pakan ayam.



Gambar 2.4 Lalat Tentara Hitam (*Hermetia illucens*) (Terrell & Ingwell, 2022)

2.3. Kondisi Optimal Perkembangan Lalat Tentara Hitam

Siklus hidup lalat tentara hitam, mulai dari telur hingga menjadi imago, dipengaruhi oleh faktor-faktor tertentu, baik itu dari kondisi substrat maupun lingkungan (Kim *et al.*, 2021). Berikut tersaji persyaratan optimal dalam siklus hidup lalat tentara hitam:



Gambar 2.5 Kajian Persyaratan Optimal Perkembangan Lalat Tentara Hitam (Kim *et al.*, 2021)

2.3.1. Kondisi Substrat

Substrat atau pakan larva merupakan sesuatu yang bersifat esensial guna mendukung pertumbuhan dan perkembangan larva. Oleh karenanya, penentuan substrat harus didasarkan oleh beberapa pertimbangan tertentu agar larva dapat berkembang dengan baik. Beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan, yakni bentuk dan ketebalan substrat, nilai pH, kelembapan, dan tingkat salinitas substrat.

Larva BSF tidak memiliki gigi untuk mengunyah makanan. Oleh sebab itu, substrat terlebih dahulu harus diberi perlakuan khusus seperti dihancurkan agar menjadi partikel-partikel kecil ataupun dalam bentuk bubur (tekstur halus) untuk memudahkan penyerapan nutrisi (Dortmans *et al.*, 2017). Selain itu, ketebalan substrat disarankan tidak melebihi 5 cm sebab larva tidak dapat mendekomposisi seluruh substrat jika terlalu tebal, akibatnya substrat yang tidak “tersentuh” oleh larva secara perlahan akan membusuk dan menimbulkan bau yang dapat menarik kehadiran spesies lalat lainnya (Amrul *et al.*, 2022).

Menurut Ma *et al.* (2018), nilai pH substrat berpengaruh terhadap perkembangan larva, yakni berat larva tertinggi didapatkan pada substrat dengan pH 6 walaupun tidak terdapat perbedaan yang signifikan terhadap seluruh perlakuan uji. Sementara, terkait perkembangan larva, didapatkan larva mampu berkembang lebih cepat pada pH 8 daripada pH lainnya. Menurut penelitian Meneguz *et al.* (2018), larva BSF yang dipelihara pada substrat dengan variasi nilai pH (4,0; 6,1; 7,5), diketahui mampu meningkatkan nilai pH substrat selama proses dekomposisi hingga mencapai pH \pm 9,0 yang berdampak pada aktivitas enzim protease dan mempengaruhi pertumbuhan larva melalui ketersediaan serta regulasi protein. Secara umum, aktivitas enzim protease meningkat pada kisaran nilai

pH 7 sampai 12 dengan pH 8 merupakan nilai optimum kinerja protease (Sanatan *et al.*, 2013).

Persentase optimum untuk kelembapan substrat didapatkan sebesar 52-70% dengan kelembapan minimum dan maksimum masing-masing sebesar 40% dan 70% (Kim *et al.*, 2021; Barragan-Fonseca *et al.*, 2017). Menurut penelitian Cammack & Tomberlin (2017), tingkat kelembapan substrat sebesar 40% menyebabkan kematian larva BSF, sementara kelembapan sebesar 70% dapat mengurangi kebutuhan pakan larva sebanyak 25 hingga 50%, tetapi mampu menstimulasi perkembangan larva menjadi lebih cepat dengan ukuran yang besar dibanding kelembapan sebesar 55%. Tingkat kelembapan substrat harus diperhatikan, sebab kelembapan yang rendah (<40%) pada substrat akan memfasilitasi aktivitas dekomposisi oleh mikroba pengurai pada substrat melebihi pertumbuhan larva sehingga nantinya akan terjadi kompetisi antara mikroba pengurai dengan larva yang menyebabkan stres pada larva, sedangkan kelembapan yang terlalu tinggi (>80%) akan memfasilitasi pertumbuhan jamur pada substrat yang berpotensi melepaskan senyawa toksik pada substrat sehingga menyebabkan kematian larva (Barrett *et al.*, 2022).

Adapun tingkat salinitas substrat secara signifikan mempengaruhi pertumbuhan larva. Tingginya konsentrasi garam pada substrat dapat memperlambat laju pertumbuhan dan mengganggu atau mengacaukan perilaku larva, bahkan pada konsentrasi melebihi 3% menyebabkan mortalitas pada larva (Siddiqui *et al.*, 2022; Cho *et al.*, 2020). Menurut penelitian Kwon & Kim (2016), larva BSF kesulitan untuk mendekomposisi substrat dengan tingkat salinitas 3% atau bahkan lebih akibat larva BSF tidak mampu untuk bergerak masuk ke dalam substrat sehingga berdampak pada kecilnya biomassa larva atau bahkan kematian larva.

2.3.2. Kepadatan Larva

Kepadatan larva (*larval density*) didefinisikan sebagai rasio atau perbandingan antara berat substrat (dalam gram) dengan kuantitas larva pada substrat. Ketika kepadatan populasi larva melebihi kisaran optimal, maka akan berdampak pada penurunan kelangsungan hidup (*survival rate*) larva akibat adanya kompetisi di dalam koloni, sehingga disarankan perbandingan optimum antara kuantitas larva dengan berat substrat (dalam gram) adalah 1-2:1 atau 1-2 larva per gram substrat (Kim *et al.*, 2021). Menurut Barragan-Fonseca *et al.* (2018), kepadatan larva berbanding lurus dengan kepadatan bakteri sehingga semakin tinggi kepadatan larva maka akan semakin tinggi pula kepadatan bakteri, akibatnya akses nutrisi substrat ke dalam tubuh larva akan lebih mudah atau efektif sebab semakin banyak kuantitas bakteri yang dapat menguraikan senyawa-senyawa kompleks dalam substrat menjadi senyawa yang lebih sederhana, namun tetap perlu dioptimalkan terkait kepadatan larva pada substrat agar diperoleh produktivitas dan tingkat kelangsungan hidup larva yang baik.

2.3.3. Suhu Lingkungan

Temperatur udara secara tidak langsung berdampak pada seluruh fase perkembangan lalat tentara hitam yaitu telur, larva, prepupa, pupa, dan kelangsungan hidup imago. Menurut Chia *et al.* (2018), penetasan telur lalat tentara hitam dipengaruhi oleh temperatur udara, yakni ketika suhu terlampau rendah (15°C) ataupun tinggi (37°C atau 40°C) maka daya tetas dan viabilitas telur akan menurun drastis ($< 11\%$), namun pada suhu 30°C dan 35°C menghasilkan daya tetas telur sebesar masing-masing 80% dan 75% . Temperatur optimum dalam penetasan telur berada pada 24°C sampai 25°C , namun pada suhu 19°C hanya sekitar 75% yang dapat menetas dan persentase tersebut akan menurun drastis menjadi $11-13\%$ pada suhu $15-16^{\circ}\text{C}$ (Barrett *et al.*, 2022).

Bagi larva, temperatur udara merupakan parameter krusial dalam pertumbuhan. Temperatur ideal berkisar antara 24-30°C, namun ketika suhu menjadi lebih rendah, maka akan berdampak pada penurunan aktivitas metabolisme tubuh larva yang ditandai melalui penurunan nafsu makan atau larva mengonsumsi lebih sedikit pakan sehingga berefek pada penurunan laju pertumbuhan. Ketika pada suhu tinggi, larva akan pergi meninggalkan sumber pakan guna mencari tempat yang lebih hangat, tetapi apabila suhu terlampaui tinggi, maka akan mengakibatkan kematian larva sebab adanya denaturasi enzim dan gangguan membran sel larva hingga kegagalan fungsi organ (Barrett *et al.*, 2022; Dortmans *et al.*, 2017).

Persentase kehidupan (*survival rate*) prepupa dan pupa secara tidak langsung didasarkan pada suhu lingkungan sekitar, walaupun jenis pakan pun ikut berpengaruh. Berdasarkan penelitian Chia *et al.* (2018), persentase kehidupan dengan memperhitungkan perbedaan jenis pakan (biji-bijian dengan tambahan ragi bir dan tanpa tambahan ragi bir), didapatkan prepupa sebesar 83% dan 82% pada temperatur sebesar 25°C dan 30°C, sedangkan untuk pupa sebesar 67% dan 77% pada temperatur yang sama. Menurut Shumo *et al.* (2019), perkembangan pupa akan lebih singkat ketika suhu mencapai 30°C dan 35°C, sementara berat prepupa akan lebih besar pada pemeliharaan dengan suhu 25°C dan 30°C (jenis pakan diperhitungkan: kotoran sapi dan biji-bijian bekas pembuatan bir).

Menurut Shumo *et al.* (2019), pengaruh temperatur terhadap imago atau lalat tentara hitam terbagi atas kesuburan dan rentang waktu kehidupan lalat tersebut. Tingkat kesuburan lalat tertinggi didapatkan pada suhu 30°C, namun hal ini juga dipengaruhi oleh asupan nutrisi yang didapat lalat ketika masih dalam bentuk larva, sedangkan lalat tentara hitam dapat hidup dengan waktu paling lama pada suhu 15°C dan lama waktu hidup akan menurun seiring dengan peningkatan suhu yang disebabkan oleh dehidrasi lalat ketika berada

pada lingkungan dengan suhu tinggi sehingga menyebabkan kematian.

2.3.4. Kelembapan Relatif

Besaran kelembapan relatif (*relative humidity*/RH) dikaitkan dengan peluang lalat tentara hitam betina dalam meletakkan telurnya dan viabilitas serta kesempatan telur untuk dapat menetas. Rata-rata lalat tentara hitam betina meletakkan telurnya ketika $RH > 60\%$ dengan maksud mencegah fenomena kekeringan pada telur yang berujung pada mortalitas telur, di sisi lain terkait telur yang telah diletakkan, lebih dari 60% telur tidak dapat menetas pada RH sebesar 50%, terlebih lagi pada RH 25% didapatkan kematian atau kegagalan telur untuk menetas sebanyak $> 90\%$ (Barrett *et al.*, 2022). Berdasarkan penelitian Holmes *et al.* (2012), kelembapan relatif berpengaruh terhadap lama waktu perkembangan serta tingkat kematian prepupa dan pupa, peluang keberhasilan pupa menjadi imago, dan umur imago. RH terbaik didapatkan sebesar 70%, yakni waktu perkembangan tersingkat dialami oleh prepupa dan pupa dengan tingkat kematian terendah (masing-masing 3% dan 2%); persentase tingkat kesuksesan perubahan pupa menjadi imago tertinggi (93%); dan umur imago terpanjang (8 hari).

2.3.5. Intensitas Cahaya

Paparan sinar matahari secara langsung akan mempengaruhi perilaku larva dan lalat. Larva tidak menyukai tempat yang terang sehingga ketika substrat terkena cahaya matahari, maka larva akan selalu menghindar dan mencari bagian yang teduh dengan cara bergerak masuk ke bagian yang lebih dalam dari substrat (Dortmans *et al.*, 2017). Di sisi lain, lalat membutuhkan cahaya matahari atau tempat yang terang untuk melakukan perkawinan dengan kekuatan paparan kisaran 135-200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$, namun ketika intensitas cahaya

rendah atau pada musim dingin, lalat tidak dapat kawin (Kim *et al.*, 2021; Barragan-Fonseca *et al.*, 2017).

2.4. Kajian Manfaat Larva BSF

Lalat tentara hitam merupakan salah satu jenis serangga dengan segudang manfaat ketika masih dalam fase larva, yaitu pemanfaatannya dalam mengatasi permasalahan sampah organik dan/atau keperluan lainnya oleh berbagai negara tertentu seperti Indonesia, Tiongkok, Korea Selatan, Malaysia, Jepang, Vietnam, Taiwan, Amerika Serikat, Swedia, dan Selandia Baru (Kim *et al.*, 2021). Secara garis besar, pengolahan sampah organik dengan larva BSF terjadi melalui proses dekomposisi yang berdampak pada pertambahan berat larva sehingga kaya akan protein dan lipid (Eggink *et al.*, 2022). Kandungan protein yang tinggi pada larva dapat dijadikan sebagai pakan ternak alternatif, terlebih lagi larva berpotensi menjadi makanan “masa depan” bagi manusia (Kim *et al.*, 2021; Maurer *et al.*, 2016). Berikut tersaji berbagai pemanfaatan larva BSF bagi kehidupan, baik itu manusia maupun lingkungan:

2.4.1. Dekomposisi Sampah Organik

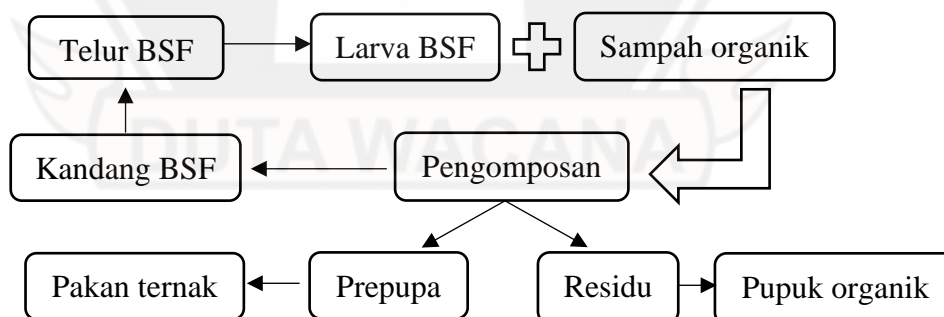
Larva BSF merupakan dekomposer yang dapat hidup di berbagai jenis substrat organik dengan laju pertumbuhan yang cukup tinggi (Purnamasari & Khasanah, 2022; Siddiqui *et al.*, 2022). Menurut Kinasih *et al.* (2018), larva BSF memanfaatkan nutrisi pada substrat guna mengisi kebutuhan nutrisi tubuhnya serta menginisiasi pertumbuhan hingga siap untuk memasuki fase pupa. Kemampuan larva BSF dalam mendekomposisi dan mengonversi materi organik menjadi protein dan lemak guna memfasilitasi perkembangan tubuhnya sudah tidak perlu diragukan lagi selama persyaratan hidup terpenuhi atau kondisi lingkungan terkontrol dengan baik. Adapun larva BSF mampu secara efektif mengurangi kuantitas sampah organik sebesar 50-78,9% melalui metode pengomposan, namun hal tersebut juga mempertimbangkan perihal ada tidaknya sistem

drainase dan jumlah total harian sampah yang diberikan (Amrul *et al.*, 2022; Diener *et al.*, 2011). Pengomposan dengan bantuan larva BSF telah terbukti lebih baik dari segi emisi gas-gas rumah kaca (*greenhouse gases / GHGs*) daripada dengan pengomposan secara konvensional. Menurut Pang *et al.* (2020), emisi GHGs berupa metana (CH₄) dan nitrogen oksida (N₂O) melalui pengomposan dengan larva BSF jauh lebih kecil daripada pengomposan konvensional. Minimnya emisi GHGs pada proses dekomposisi dengan bantuan larva BSF terjadi akibat ketersediaan kondisi aerob pada substrat dan “komposisi” mikroflora dalam usus larva. Gas metana dan nitrogen oksida akan terbentuk pada kondisi anaerob, namun disebabkan oleh aktifnya pergerakan larva ketika sedang makan, maka secara tidak langsung hal tersebut dapat memfasilitasi adanya suplai oksigen ke dalam substrat sehingga menciptakan kondisi aerob pada substrat, akibatnya menghambat kinerja metanogen dan bakteri denitrifikasi yang berujung pada minimnya produksi gas metana dan nitrogen oksida, di sisi lain, belum ada laporan yang menyatakan bahwa bakteri dalam usus larva mampu menginisiasi pembentukan CH₄ dan N₂O (Boakye-Yiadom *et al.*, 2022; Pang *et al.*, 2020).

Tabel 2.3 Perbandingan Emisi GHGs antara Pengomposan Larva BSF dengan Konvensional (Pang *et al.*, 2020)

Metode Pengomposan	Metana (CH ₄) (mg/kg)	Nitrogen Oksida (N ₂ O) (mg/kg)
Larva BSF (pH 3)	0,20 ± 0,08	1,65 ± 0,27
Larva BSF (pH 5)	0,78 ± 0,34	0,52 ± 0,05
Larva BSF (pH 7)	1,19 ± 0,18	0,84 ± 0,02
Larva BSF (pH 9)	2,62 ± 0,33	0,93 ± 0,08
Larva BSF (pH 11)	1,34 ± 0,16	0,20 ± 0,02
Konvensional	1500	1200

Adapun residu dari proses dekomposisi larva BSF dinamakan *frass* yang berpotensi untuk dijadikan pupuk organik. *Frass* secara umum mengandung hasil ekskresi berupa feses larva, eksoskeleton yang dilepaskan oleh larva, dan sisa substrat yang tidak termakan (Green, 2023). Walaupun dapat digunakan sebagai pupuk organik, namun perlu dicatat bahwa *frass* tidak bisa digunakan secara langsung, tetapi harus melalui pengelolaan terlebih dahulu sebab *frass* tersebut masih berupa “setengah matang” akibat proses dekomposisi yang berlangsung cepat oleh larva BSF. Proses pematangan *frass* dapat melalui pengomposan dengan bantuan cacing tanah (*vermicomposting*) dan mikroorganisme guna menguraikan materi organik agar tercipta kestabilan (rasio C/N) sekaligus meminimalkan toksisitas ketika diaplikasikan ke tanaman (*phytotoxicity*) (Lopes *et al.*, 2022). Namun, berdasarkan penelitian Beesigamukama *et al.* (2022), *frass* atau residu hasil pengomposan larva BSF dapat langsung digunakan sebagai pupuk organik sebab konsentrasi unsur N (nitrogen), K (kalium), dan S (sulfur) pada *frass* lebih tinggi daripada *frass* hasil pengomposan serangga lain. Disisi lain, tingkat perkecambahan biji dengan menggunakan *frass* larva BSF dapat mencapai > 90% sehingga *frass* tersebut dapat digunakan sebagai alternatif pupuk komersial.



Gambar 2.6 Diagram Alur Pengolahan dan Produk Sampingan Larva BSF (Amrul *et al.*, 2022)

2.4.2. Sebagai Pakan Ternak Alternatif

Larva BSF secara umum dimanfaatkan sebagai pakan ternak alternatif sebab mengandung protein dan lemak masing-masing sebesar 40% dan 30%, namun hal tersebut bergantung dari jenis pakannya sehingga terdapat kemungkinan kandungan nutrisi tersebut mengalami peningkatan (Barragan-Fonseca *et al.*, 2017; ST-Hilaire *et al.*, 2007). Pemanfaatan larva BSF sebagai pakan alternatif biasanya diberikan dalam bentuk segar atau dicampurkan ke dalam pakan komersil bagi unggas dan/atau ikan. Menurut penelitian Cullere *et al.* (2018), larva BSF dapat dijadikan tepung untuk disubstitusikan sebagai pakan burung puyuh pedaging dan apabila dibandingkan dengan pakan konvensional, tidak terdapat perbedaan secara signifikan terhadap kualitas, rasa, bau, dan tekstur daging burung puyuh. Terkait dengan substitusi lemak larva BSF dalam pakan ayam broiler dibandingkan dengan minyak kedelai tidak terdapat perbedaan yang signifikan terhadap kualitas daging ayam pada bagian kaki dari segi kadar air, lemak, protein, dan abu, sementara untuk bau dan rasa daging pada bagian dada ayam pun tidak terdapat perbedaan secara signifikan antara pakan yang diberi minyak kedelai dengan yang disubstitusikan dengan lemak larva BSF (Cullere *et al.*, 2019). Penelitian lain menyebutkan bahwa substitusi pakan ikan Lele Sangkuriang (*Clarias gariepinus*) dengan larva BSF segar sebanyak 50% mampu memberikan bobot dan panjang yang lebih besar daripada dengan pemberian pelet diikuti dengan kelangsungan hidup ikan sebesar 100% (Berampu *et al.*, 2021). Hal serupa terlihat pada penelitian Fadlan *et al.* (2022) yang menyatakan bahwa substitusi tepung larva BSF pada pakan ikan Lele Sangkuriang (*Clarias* sp.) berdampak pada peningkatan rata-rata berat dan panjang yang lebih besar daripada dengan pemberian pakan tepung ikan diikuti dengan kelangsungan hidup ikan sebesar 88%. Adapun penelitian Sepang *et al.* (2021) menyatakan bahwa

pakan ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) berupa kombinasi antara pelet dan larva BSF yang telah dikeringkan dengan rasio 50:50 memberikan dampak pada berat, pertumbuhan harian, serta laju pertumbuhan relatif ikan Nila yang lebih besar daripada hanya diberi pakan pelet 100%.

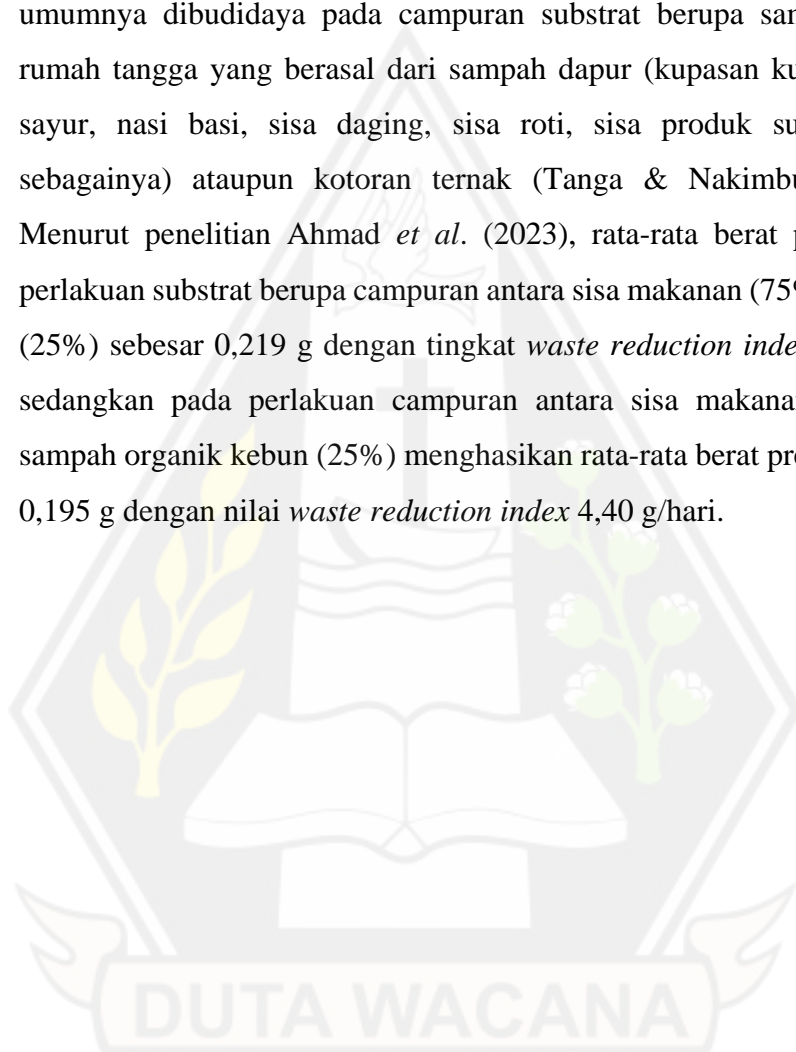
2.4.3. Potensi Bahan Pangan “Masa Depan”

Larva BSF dapat dikonsumsi sebab kandungan nutrisinya yang tinggi, khususnya protein sehingga dapat dijadikan makanan alternatif kaya protein bagi manusia di masa mendatang. Namun, masih adanya anggapan bahwa pantang atau larangan untuk makan serangga khususnya serangga yang memakan sampah dan asumsi bahwa rasa serangga tidak sama dengan daging sehingga umumnya serangga hanya dijadikan sebagai camilan daripada sebagai pengganti protein untuk bahan pangan dari kelompok vertebrata (Wang & Shelomi, 2017). Padahal penelitian Bessa *et al.* (2019) terkait perbandingan proksimat sosis yang dibuat secara konvensional dengan yang mengandung larva BSF menunjukkan hasil proksimat dan kekenyalan yang tidak jauh berbeda. Dari segi akumulasi logam berat pada larva BSF, penelitian Diener *et al.* (2015) mengungkapkan bahwa konsentrasi logam berat berupa timbal dan seng pada larva dan prepupa BSF lebih rendah daripada pakannya. Oleh sebab itu, kesadaran masyarakat terkait pemanfaatan larva BSF sebagai alternatif sumber protein bagi pangan perlu ditingkatkan dengan mempertimbangkan kekurangan pangan di masa yang akan depan akibat peningkatan populasi manusia (Kim *et al.*, 2021).

2.5. Jenis Pakan Umum dalam Budidaya Larva BSF

Larva BSF tergolong ke dalam salah satu dekomposer yang banyak dibudidayakan karena kemudahan dan keunggulannya. Berbagai keunggulan dalam budidaya larva BSF diantaranya: waktu pertumbuhan yang relatif

cepat/singkat, tingkat toleransi terhadap kondisi lingkungan tinggi, mampu mendekomposisi berbagai jenis sampah organik, tidak dikaitkan sebagai hama atau vektor penyakit, residu hasil dekomposisi dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik, bersifat berkelanjutan (*sustainable*), dan lain sebagainya (Tanga *et al.*, 2017). Dalam skala budidaya, larva BSF umumnya dibudidaya pada campuran substrat berupa sampah organik rumah tangga yang berasal dari sampah dapur (kupasan kulit buah, sisa sayur, nasi basi, sisa daging, sisa roti, sisa produk susu, dan lain sebagainya) ataupun kotoran ternak (Tanga & Nakimbugwe, 2022). Menurut penelitian Ahmad *et al.* (2023), rata-rata berat prepupa pada perlakuan substrat berupa campuran antara sisa makanan (75%) dan jerami (25%) sebesar 0,219 g dengan tingkat *waste reduction index* 5,01 g/hari, sedangkan pada perlakuan campuran antara sisa makanan (75%) dan sampah organik kebun (25%) menghasilkan rata-rata berat prepupa sebesar 0,195 g dengan nilai *waste reduction index* 4,40 g/hari.



BAB III

METODOLOGI

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam kurun waktu 4 bulan, yakni pada bulan Maret hingga Juni 2023, di mana lokasi penelitian berada di Universitas Kristen Duta Wacana (UKDW) yang terletak di Jalan Dr. Wahidin Sudirohusodo No.5-25, Kelurahan Kotabaru, Kecamatan Gondokusuman, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta. Secara lebih spesifik, kegiatan penelitian dilaksanakan di fasilitas penelitian lapang, Fakultas Bioteknologi UKDW.

3.1.1. Perincian Waktu Penelitian (*Time Schedule*)

Adapun perincian waktu/jadwal kegiatan selama penelitian terlampir sebagai berikut:

Tabel 3.1 Perincian Jadwal Penelitian

Kegiatan	Waktu Pelaksanaan													
	Maret				April				Mei				Juni	
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II
Preparasi alat, bahan, dan kandang pemeliharaan larva BSF														
Analisis proksimat pakan larva BSF														
Penetasan telur BSF														
Pembesaran larva BSF (12 hari)														
Analisis proksimat larva BSF I														
Pemeliharaan larva BSF														

Tabel 3.1 Lanjutan

Determinasi larva BSF																			
Pengukuran parameter abiotik																			
Perhitungan parameter pertumbuhan																			
Analisis proksimat larva BSF II																			
Analisis data hasil penelitian																			
Penulisan laporan akhir																			

3.2. Bahan

Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian meliputi: telur lalat tentara hitam (*Hermetia illucens* L.) yang diperoleh dari Maggot BSF Sleman Jogja di Jalan Ketingan RT 04 RW 21, Dusun Ketingan, Kelurahan Tirtoadi, Kecamatan Mlati, Kabupaten Sleman, Yogyakarta; sampah organik rumah tangga meliputi sisa nasi dan tulang ikan Nila yang diambil dari warung makan Eka Sari yang berlokasi di Jalan Dr. Wahidin (timur rumah sakit Betesdha, Yogyakarta) dan rumah makan yang berlokasi di Jalan Klitren Lor GK 3 No.271, Klitren, Kecamatan Gondokusuman, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta; cuka; air; dan pakan babi T51 (produksi PT Charoen Pokphand Indonesia).

3.3. Alat

Alat-alat yang dibutuhkan dalam penelitian meliputi: nampan plastik kotak ukuran 36 cm x 30 cm x 12 cm (kandang penetasan telur lalat tentara hitam); wadah plastik bulat berukuran 12 cm x 8 cm (kandang pemeliharaan) (Djawara Prioritas, Indonesia); paranet kerapatan 70%; kawat strimin; *digital pocket scale* DS-19, China; timbangan digital 5 kg

(Crown Star, China); *thermohygrometer* model no. HTC-2, China; dan *digital soil analyzer tester meter 3 in 1* dan *4 in 1* (Henan Wanbang EP Tech Co.,Ltd, China).

3.4. Desain Penelitian

Metode penelitian yang digunakan berupa penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimental. Penelitian dilakukan dengan 3 perlakuan variasi jenis pakan dan 1 kontrol yang diaplikasikan pada larva lalat tentara hitam (larva BSF) sebanyak 3 kali pengulangan. Kemudian dihitung beberapa parameter pengujian yang telah ditentukan sekaligus nilai proksimat larva BSF. Jenis pakan yang digunakan terdiri atas pakan babi T51 (kontrol), sisa nasi, tulang ikan nila, dan kombinasi.

3.4.1. Jenis Rancangan Percobaan dalam Penelitian

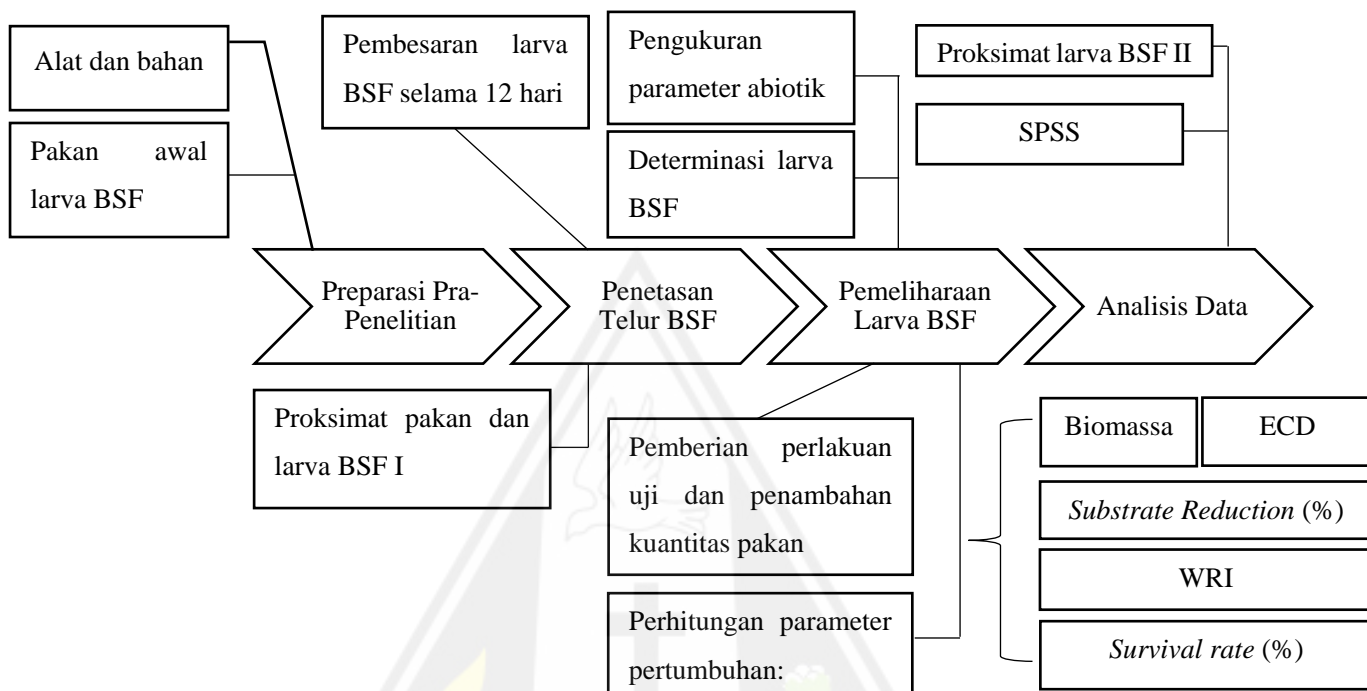
Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian berupa Rancangan Acak Lengkap (RAL) seperti disajikan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Tabulasi Data Penelitian

Ulangan	Perlakuan				Total
	P1	P2	P3	P4	
1	Y_{11}	Y_{21}	Y_{31}	Y_{41}	
2	Y_{12}	Y_{22}	Y_{32}	Y_{42}	
3	Y_{13}	Y_{23}	Y_{33}	Y_{43}	
Total	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	$Y_{..}$
Rerata	\bar{Y}_1	\bar{Y}_2	\bar{Y}_3	\bar{Y}_4	$\bar{Y}_{..}$

Keterangan: P1 (kontrol); P2 (sisa nasi); P3 (tulang ikan nila); P4 (kombinasi 50% sisa nasi + 50% tulang ikan nila).

3.5. Bagan Alir Penelitian



3.6. Pelaksanaan Penelitian

3.6.1. Preparasi Pra-Penelitian

Alat-alat yang digunakan disiapkan dan di tes terlebih dahulu guna memastikan kondisi dan fungsinya berjalan dengan baik (timbangan saku digital, *thermohygrometer*, dan *soil tester*), sedangkan perihal kandang pemeliharaan larva BSF nantinya disiapkan sebanyak 12 buah wadah plastik bulat berukuran 12 cm x 8 cm yang ditutup paranet serta dimasukkan ke dalam nampan plastik kotak ukuran 36 cm x 30 cm x 12 cm dan ditutup kembali dengan paranet dan kawat strimin guna mencegah serangan predator (semut, tikus, kadal, dan hewan lainnya) (Gambar 3.1). Sementara, terkait pakan awal larva BSF yang baru menetas nantinya berupa pakan babi T51 sebanyak 2x total berat telur yang dilarutkan dalam air (volume pelarutan air bersifat fleksibel) dan dihaluskan hingga berbentuk seperti bubuk. Penggunaan pakan T51 sebagai pakan awal serta untuk perlakuan kontrol didasari oleh kandungan nutrisi dalam pakan tersebut yang

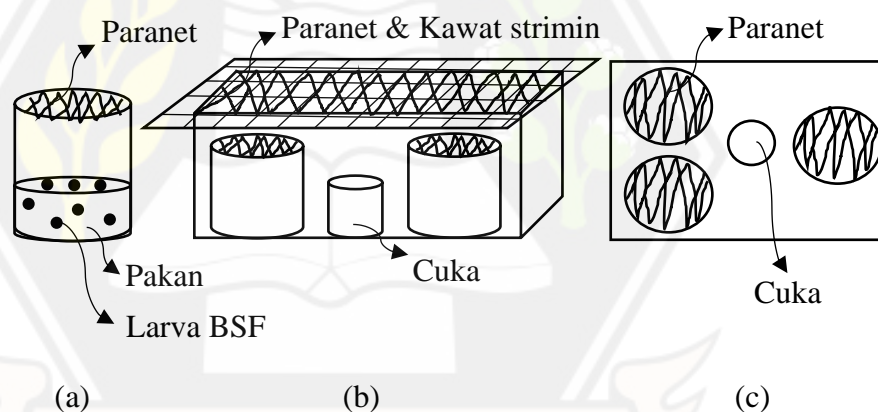
tinggi protein (20%) dan dilengkapi nutrisi lainnya berupa karbohidrat/serat (6%), lemak (4%), kadar air (13%), dan kadar abu (8%) (Taqiyuddin, 2022). Keceragaman pakan tersebut sebagai pakan ayam didasarkan pada kandungan protein yang cukup tinggi sehingga dapat menunjang perkembangan ayam, sama halnya dengan larva BSF yang membutuhkan kandungan protein tinggi guna menginisiasi perkembangan biomassa atau nutrisi dari segi protein larva itu sendiri. Menurut penelitian Kinasih *et al.* (2018) dan Diener *et al.* (2011), larva BSF yang diberi pakan ayam membutuhkan lama waktu perkembangan yang lebih singkat, dengan biomassa tertinggi.

3.6.2. Penetasan Telur Lalat Tentara Hitam

Telur lalat tentara hitam sebanyak 10 g diletakkan diatas tisu dalam nampan plastik kotak untuk ditetaskan sekaligus pakan babi T-51 yang telah dihaluskan sebelumnya diberikan sebagai media/substrat. Penetasan telur akan berlangsung selama 3-4 hari, kemudian akan menetas menjadi larva BSF yang akan langsung memakan substrat dan dipelihara selama 12 hari agar nantinya dapat dengan mudah dipisahkan dari pakan sebelumnya, sebab larva berumur 1 hingga 10 hari akan sulit untuk dipisahkan dari pakan dengan asumsi ukurannya yang masih terlalu kecil (Nofiyanti *et al.*, 2022). Selanjutnya, larva BSF berumur 12 hari (S0: sampel sebelum diperlakukan) dan pakan sisa nasi serta tulang ikan nila yang telah dihaluskan diambil sebanyak masing-masing 20 g untuk dianalisis kandungan nutrisinya (proksimat I) yang meliputi karbohidrat, protein, lemak, kadar air, dan kadar abu di Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana, Kecamatan Sidorejo, Kota Salatiga, Jawa Tengah. Kemudian, larva BSF dipindahkan ke dalam kandang masing-masing sejumlah 150 larva.

3.6.3. Pemeliharaan Larva BSF

Setelah larva BSF dipindahkan, ditambahkan sebanyak 150 g pakan sesuai pembagian perlakuan uji. Adapun pakan T51 terlebih dahulu dihaluskan dengan menambahkan air agar tekstur pakan menjadi lunak, pakan sisa nasi tidak diberi perlakuan awal sehingga langsung diberikan kepada larva BSF, pakan tulang ikan nila dihaluskan dengan cara ditumbuk untuk memperkecil ukuran tulang tersebut, dan pakan kombinasi hanya menggabungkan antara pakan sisa nasi dan tulang ikan nila yang telah ditumbuk dengan rasio 50:50. Penambahan pakan sebanyak 50 g dilakukan untuk mencegah kekurangan kuantitas pakan larva BSF pada setiap perlakuan uji. Adapun kandang pemeliharaan ditutup dengan paranet dan dimasukkan ke dalam wadah yang lebih besar, kemudian diberi cuka dan ditutup kembali menggunakan paranet serta kawat strimin. Desain kandang pemeliharaan ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Ilustrasi Kandang Pemeliharaan: kandang pemeliharaan larva BSF (a); tampak samping (b); tampak atas (c)

3.6.4. Determinasi Larva BSF

Sampel larva BSF yang digunakan dikirimkan ke Laboratorium Entomologi, Fakultas Biologi UGM, Universitas Gadjah Mada, Jalan Teknik Selatan, Sekip Utara, Kelurahan Depok, Kabupaten Sleman, Yogyakarta, Jawa Tengah untuk dilakukan identifikasi dan

determasi agar diketahui bahwa sampel larva BSF yang digunakan memang benar merupakan spesies *Hermetia illucens* Linnaeus.

3.6.5. Pengukuran Parameter Abiotik

Selama pemeliharaan, dilakukan pengukuran parameter abiotik berupa suhu dan kelembapan udara serta pakan dan nilai pH pakan setiap 2 hari pada siang hari. Pengukuran suhu dan kelembapan udara menggunakan *thermohygrometer* HTC-2 dengan cara meletakkan alat dekat dengan kandang pemeliharaan, sementara untuk pengukuran suhu dan nilai pH pakan dilakukan dengan menancapkan *digital soil analyzer tester meter* 4 in 1 ke dalam pakan dan ditunggu hingga angka stabil, begitu juga dengan pengukuran kelembapan pakan namun dengan alat yang berbeda (3 in 1).

3.6.6. Perhitungan Parameter Pertumbuhan

Parameter pertumbuhan merepresentasikan tingkat pertumbuhan larva BSF selama pemeliharaan yang nantinya akan dihitung setiap 3 hari hingga penelitian berakhir. Komponen perhitungan meliputi biomassa larva, *substrate reduction (substrate red.)*, *waste reduction index (WRI)*, *efficiency of conversion of digested food (ECD)*, dan sintasan [*survival rate (%)*]. Biomassa menggambarkan berat larva BSF yang didapat melalui konversi sampah organik ke dalam bentuk protein dan lemak (Siddiqui *et al.*, 2022). Perhitungan biomassa larva BSF dilakukan dengan cara menimbang 10% dari total larva dari masing-masing perlakuan uji, sedangkan untuk penambahan biomassa larva ditentukan dengan cara mengurangi nilai biomassa akhir dengan biomassa awal larva. *Substrate reduction (substrate red.)* menggambarkan persentase pengurangan total substrat setelah pemberian perlakuan uji dengan rumus perhitungan menggunakan persamaan (a). *Waste reduction index (WRI)* menggambarkan tingkat kemampuan larva BSF dalam mereduksi sampah organik

dalam waktu tertentu dan keduanya menunjukkan hubungan yang berbanding lurus (Jucker *et al.*, 2020) dengan rumus perhitungan menggunakan persamaan (b) yang akan diakumulasikan selama masa pemeliharaan dan besaran nilai nantinya ditetapkan setelah penelitian berakhir. *Efficiency of conversion of digested food* (ECD) atau juga dikenal sebagai *efficiency of conversion of ingested food* (ECI) menggambarkan tingkat efisiensi larva BSF yang ditunjukkan dari kemampuan konversi pakan yang tertelan/tercerna menjadi biomassa bagi tubuhnya (Asmoro *et al.*, 2021; Jucker *et al.*, 2020) dengan rumus perhitungan menggunakan persamaan (c) yang akan diakumulasikan selama masa pemeliharaan dan besaran nilai nantinya ditetapkan setelah penelitian berakhir. *Survival rate* (%) menggambarkan persentase kehidupan larva BSF hingga akhir penelitian yang dibandingkan dengan jumlah awal larva BSF dengan rumus perhitungan menggunakan persamaan (d). Rumus perhitungan yang digunakan dalam menentukan parameter pertumbuhan larva BSF adalah sebagai berikut: (Ribeiro *et al.*, 2022; Pliantiangtam *et al.*, 2021)

$$(a) \text{ Substrate red. (\%)} = \frac{\text{berat pakan awal (g)} - \text{residu (g)}}{\text{berat pakan awal (g)}} \times 100$$

$$(b) \text{ WRI (g/d)} = \frac{\text{substrate reduction}}{\text{waktu perlakuan (hari)}} \times 100$$

$$(c) \text{ ECD} = \frac{\text{biomassa larva (g)}}{\text{berat pakan awal (g)} - \text{residu (g)}}$$

$$(d) \text{ Survival rate (\%)} = \frac{\text{jumlah larva akhir}}{\text{jumlah larva awal}} \times 100\%$$

3.6.7. Analisis Proksimat Larva BSF II

Identifikasi komposisi nutrisi larva BSF sesudah perlakuan dilakukan dengan mengirimkan sampel larva BSF segar sebanyak 1x per perlakuan dan kontrol sejumlah 20 g untuk dianalisis kandungan nutrisinya berupa karbohidrat, protein, lemak, kadar air, dan kadar abu di Laboratorium Kimia, Fakultas Sains dan

Matematika, Universitas Kristen Satya Wacana, Kecamatan Sidorejo, Kota Salatiga, Jawa Tengah.

3.6.8. Analisis Data Hasil Penelitian

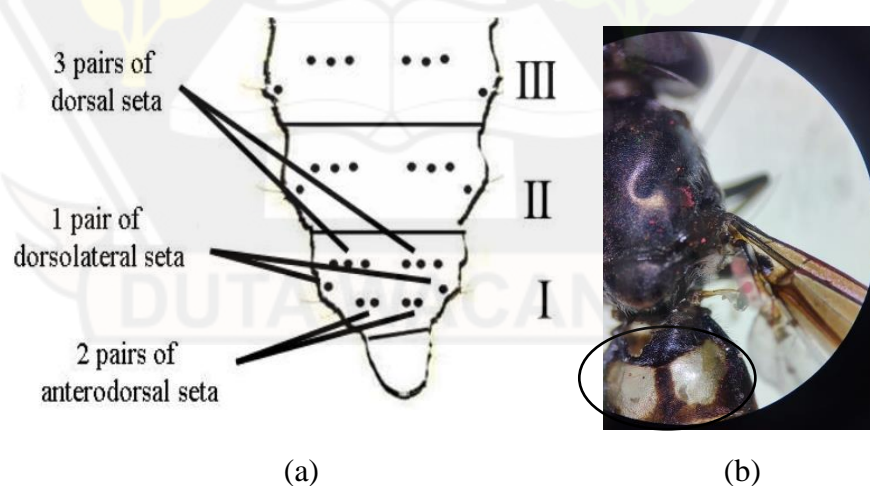
Data hasil analisis dan pengukuran nantinya dikumpulkan dan dianalisis menggunakan bantuan aplikasi *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS). Hasil analisis proksimat/nutrien larva BSF diuji dengan menggunakan One-Sampel T Test agar diketahui perbedaan secara signifikan nutrisi larva BSF dari setiap perlakuan terhadap kontrol. Untuk hasil parameter pertumbuhan larva BSF, terlebih dahulu dilakukan uji normalitas dengan *Shapiro-Wilk* dan homogenitas dengan *Levene's test*, ketika data memenuhi kriteria normalitas dan homogenitas, maka pengujian dilakukan dengan uji One-Way ANOVA, tetapi jika tidak digunakan uji Kruskal-Wallis H. Apabila didapatkan perbedaan nilai rata-rata antar perlakuan uji secara signifikan, maka pengujian dilanjutkan dengan menggunakan uji Duncan (*post-hoc*). Terkait dengan hubungan antara variabel independent dengan dependen, pengujian dilakukan dengan menggunakan uji korelasi Pearson (apabila data memenuhi kriteria normalitas dan linearitas) ataupun Spearman, sedangkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh antara variabel independent dengan dependen, pengujian dilakukan dengan menggunakan uji regresi linear sederhana (Santoso, 2018).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Determinasi Larva BSF

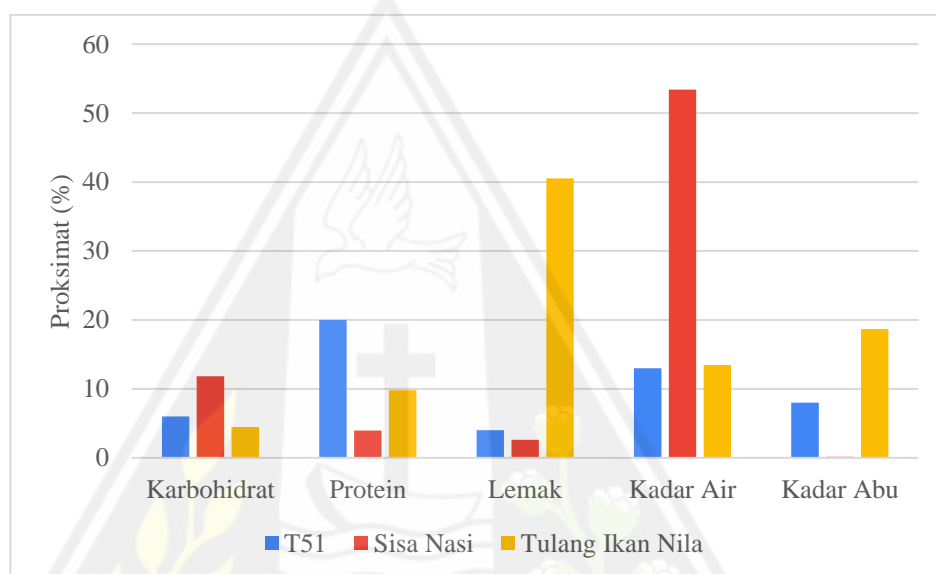
Larva BSF merupakan serangga dengan nama ilmiah *Hermetia illucens* L. yang termasuk ke dalam kelas Insecta dengan ordo Diptera dan famili Stratiomyidae (Woodley, 2001). Hasil determinasi sampel serangga yang tercantum pada Lampiran 1. menyatakan bahwa sampel yang diidentifikasi memang benar merupakan larva dan lalat tentara hitam dengan nama ilmiah *Hermetia illucens* L. atau *black soldier fly*. Menurut Oliveira *et al.* (2015), ciri khas dari larva BSF terlihat pada bagian dorsal, yaitu toraks dengan tiga segmen. Segmen pertama terdiri atas 2 pasang bulu, 1 pasang bulu, dan 3 pasang bulu yang masing-masing berada pada bagian teratas (anterodorsal), samping (dorsolateral), dan belakang. Sementara, segmen kedua dan ketiga tidak memiliki bulu di bagian anterodorsal (Gambar 4.1a). Selanjutnya, imago BSF memiliki ciri khas berupa adanya sepasang bagian transparan/bening berbentuk lonjong pada segmen abdomen pertama (Gambar 4.1b).



Gambar 4.1 Identifikasi *Hermetia illucens*: bagian dorsal larva BSF (a) (Oliveira *et al.*, 2015); imago (b) (Dokumentasi Pribadi)

4.2. Komposisi Nutrien Pakan Larva BSF

Kandungan nutrien pakan optimal dibutuhkan untuk mendukung pertumbuhan dan kelangsungan hidup larva BSF. Secara garis besar, pakan dengan tinggi kandungan energi dan lemaknya dianggap sebagai pakan yang direkomendasikan/optimal bagi larva (Nguyen, 2010). Adapun terkait kandungan nutrien pakan larva BSF tercantum pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Komposisi Beberapa Jenis Pakan Larva BSF

Berdasarkan hasil analisis proksimat pakan pada Gambar 4.2, diketahui bahwa kandungan karbohidrat dan kadar air tertinggi tercatat pada pakan sisa nasi dengan masing-masing sebesar 11,84% dan 53,40%, protein pada pakan T-51 (20%), serta lemak dan kadar abu pada pakan tulang ikan nila dengan masing-masing sebesar 40,52% dan 18,69%. Menurut Chaudhari *et al.* (2018), kandungan karbohidrat pada nasi dapat mencapai 80%, tetapi hasil analisis mencatat besaran karbohidrat yang terkandung sebanyak 11,84%. Hal tersebut disebabkan oleh adanya penurunan kadar karbohidrat/glukosa akibat proses oksidasi glukosa pada nasi seiring lamanya masa penyimpanan, sebab bukan nasi matang yang digunakan, namun sisa nasi yang disimpan dalam wadah selama semalaman, terlebih lagi diketahui bahwa kadar air yang terdeteksi merupakan yang tertinggi

diantara jenis pakan lainnya. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Purbowati & Anugrah (2020) dan Islamiyah *et al.* (2013) yang menyatakan bahwa kadar glukosa pada nasi akan mengalami penurunan seiring lamanya waktu penyimpanan dalam pemanas sebab adanya proses oksidasi glukosa yang mengubah glukosa menjadi karbondioksida dan air sehingga menyebabkan kadar air meningkat.

Pakan T-51 tercatat sebagai pakan dengan kandungan protein tertinggi daripada sisa nasi dan tulang ikan nila, sebab komposisi pakan T-51 mengandung berbagai jenis produk nabati kaya akan protein, seperti jagung, kedelai, umbi-umbian, kacang tanah, gandum, dan lain sebagainya (Taqiyuddin, 2022).

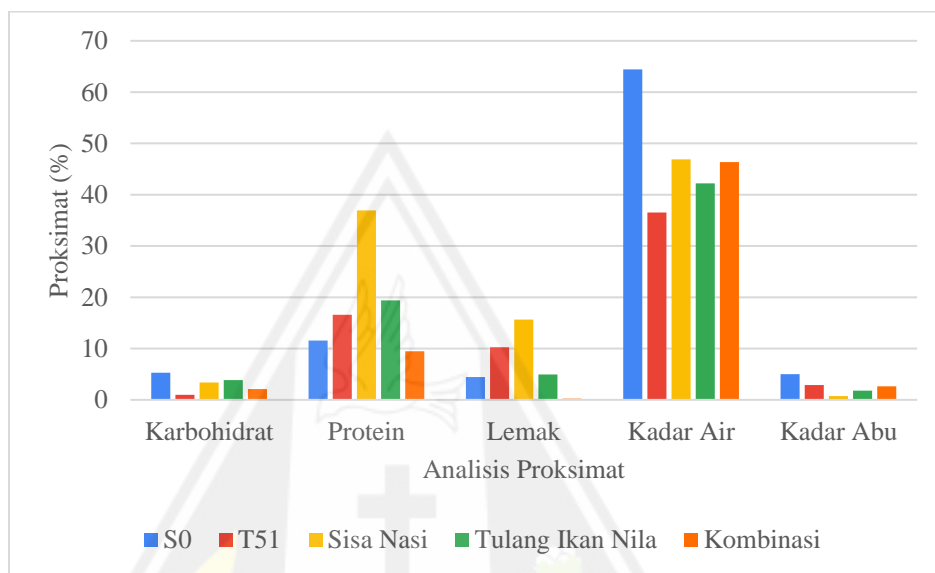
Tulang ikan nila sebagai pakan larva BSF diketahui melalui hasil analisis proksimat mengandung kadar lemak yang cukup tinggi beserta dengan kadar abu. Hal tersebut disebabkan oleh tulang ikan nila yang digunakan sebagai pakan berasal dari ikan nila yang digoreng. Proses penggorengan secara tidak langsung akan meningkatkan kadar lemak dan kadar abu pada tulang ikan nila. Serupa dengan pernyataan Zula & Desta (2021) dan Sundari *et al.* (2015) yang menyatakan bahwa kenaikan kadar lemak pada bahan pangan yang digoreng disebabkan oleh adanya penyerapan minyak goreng ke dalam bahan pangan tersebut sehingga mengakibatkan adanya kenaikan kadar lemak, sementara proses pengolahan bahan pangan dengan cara digoreng secara tidak langsung akan menguapkan kandungan air yang ada pada bahan pangan sehingga mengakibatkan penurunan kadar air dan kenaikan kadar abu sebab adanya kenaikan suhu selama proses penggorengan dan kadar air berbanding terbalik dengan kadar abu (Riansyah *et al.*, 2013).

4.3. Pertumbuhan Larva BSF

4.3.1. Nutrien Larva BSF

Nutrien yang terkandung pada pakan larva BSF dapat berpengaruh secara positif/nyata terhadap nutrien dalam tubuh larva

sehingga nantinya akan berdampak pada proses pertumbuhan larva (Hartati *et al.*, 2022; Holeh *et al.*, 2022). Adapun terkait kandungan nutrisi larva BSF tercantum pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Nilai Nutrien Larva BSF Sebelum (S0) dan Sesudah Perlakuan Pakan (T51, Sisa Nasi, Tulang Ikan Nila, dan Kombinasi) selama 12 Hari

Berdasarkan hasil analisis proksimat larva BSF pada Gambar 4.3 yang juga terlampir pada Lampiran 3., diketahui bahwa larva BSF dengan kandungan karbohidrat tertinggi tercatat pada perlakuan tulang ikan nila sebesar 3,84%. Kandungan protein, lemak, dan kadar air larva BSF pada perlakuan sisa nasi didapatkan yang terbesar, yakni masing-masing sebesar 36,95%, 15,64%, dan 46,88%. Persentase kadar abu larva BSF pada perlakuan T51 didapatkan yang tertinggi, yaitu sebesar 2,89%. Hasil analisis One-Sample T Test dengan menempatkan nutrisi larva BSF kontrol (T51) sebagai patokan (Lampiran. 15), diketahui bahwa seluruh perlakuan uji dengan kelima komponen nutrisi larva BSF (karbohidrat, protein, lemak, kadar air, dan kadar abu) didapatkan nilai signifikansi $> 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak

terdapat perbedaan secara nyata pada kandungan nutrisi larva BSF dengan perlakuan uji yang berbeda terhadap kontrol atau dengan kata lain kandungan nutrisi larva BSF pada setiap perlakuan uji sama dengan kontrol. Walaupun data perbandingan nutrisi larva BSF pada Gambar 4.3 menunjukkan nutrisi larva BSF pada setiap perlakuan uji terdapat perbedaan, namun secara statistik perbedaan tersebut tidak nyata atau signifikan.

Menurut Oddon *et al.* (2022), kebutuhan larva BSF akan nutrisi (karbohidrat, protein, dan lemak) pada pakan guna memfasilitasi pertumbuhannya lebih besar pada instar awal dan kebutuhan nutrisi akan berkurang seiring pertumbuhan larva BSF. Peran karbohidrat dan lemak merupakan yang krusial dalam menginisiasi pertumbuhan larva BSF menjadi prepupa hingga imago, sementara protein dibutuhkan guna menambah biomassa/bobot larva BSF.

Pada komponen nutrisi berupa karbohidrat, diketahui secara berurutan komposisi karbohidrat pada larva BSF tertinggi hingga terendah tercatat pada perlakuan tulang ikan nila, sisa nasi, kombinasi, dan kontrol. Kandungan kadar karbohidrat yang tinggi pada perlakuan tulang ikan nila maupun sisa nasi disebabkan oleh kondisi larva yang belum memasuki fase prepupa, yakni warna kulit larva masih coklat muda/terang (Lampiran 35.) sehingga larva masih memakan pakannya guna menambah sekaligus menyimpan energi dalam tubuh untuk digunakan ketika hendak memasuki fase pupa. Sedangkan, larva BSF pada perlakuan kontrol dan kombinasi mengandung kadar karbohidrat yang lebih rendah sebab mayoritas kadar karbohidrat telah dikonversi menjadi lipid guna sebagai energi dalam memasuki fase pupa (metamorfosis). Penurunan kadar karbohidrat juga terjadi akibat adanya konversi menjadi lipid, sebab kelebihan kadar karbohidrat yang ada pada tubuh larva BSF akan dikonversikan menjadi cadangan lemak oleh aktivitas insulin (Oddon *et al.*, 2022; Gold *et al.*, 2020).

Urutan komposisi protein pada larva BSF tertinggi hingga terendah tercatat pada perlakuan sisa nasi, tulang ikan nila, kontrol, dan kombinasi. Hal ini disebabkan oleh larva BSF pada perlakuan sisa nasi dan tulang ikan nila merupakan larva yang masih mengalami pertumbuhan, sementara pada kontrol dan kombinasi sebagai *late* prepupa. Hasil penelitian yang didapat serupa dengan penelitian Liu *et al.* (2017), yakni protein larva BSF akan meningkat seiring pertumbuhannya hingga batas tertinggi pada *early* prepupa, kemudian akan menurun pada *late* prepupa. Penyebab penurunan jumlah protein larva BSF yaitu pada fase prepupa, tidak adanya aktivitas makan atau dengan kata lain tidak adanya asupan/suplai nutrisi sesuai dengan pernyataan (Wahyuni *et al.*, 2021). Menurut Tettamanti *et al.* (2022), Julita *et al.* (2020), dan Ilan (1964), terdapat peran asam amino dalam hal histogenesis, yakni modifikasi serta pembentukan saluran pencernaan baru bagi imago dan organ reproduksi berupa *aedeagus* bagi lalat jantan dan *ovipositor* bagi lalat betina selama fase pupa sehingga cadangan protein yang ada akan diurai menjadi asam amino oleh enzim protease, akibatnya *late* prepupa yang hendak memasuki fase pupa akan kehilangan sejumlah protein dalam tubuhnya. Menurut penelitian Fuso *et al.* (2021), pakan rendah protein dapat dikonversikan menjadi protein dalam tubuh larva BSF dengan tingkat efisiensi $\geq 90\%$, sementara untuk pakan dengan tinggi protein hanya mampu dikonversi sebesar 10%. Adapun hal tersebut dijelaskan berdasarkan tingkat minimum kebutuhan larva BSF akan protein, yakni ketika protein dalam tubuh larva BSF sudah mencapai ambang minimum yang dibutuhkan, maka konversi protein pada pakan menjadi protein tubuh larva menjadi kurang relevan. Larva BSF pada perlakuan sisa nasi tercatat memiliki kandungan protein tertinggi (Gambar 4.3), padahal kandungan protein pada pakan sisa nasi tercatat merupakan yang terendah (Gambar 4.2). Adapun terkait hal tersebut dibutuhkan

penelitian lebih lanjut atau mendalam perihal metabolisme nutrisi pada bagian pencernaan larva BSF atau bagaimana kaitannya antara pakan tinggi karbohidrat dengan persentase kandungan protein yang tinggi pula pada tubuh larva BSF, sebab belum terdapat informasi terkait pembentukan protein dari karbohidrat. Menurut Le Gall & Behmer (2014) dan Steele (1952), belum adanya informasi secara komprehensif tentang pembentukan asam amino yang adalah penyusun protein dari pemecahan molekul karbohidrat, tetapi secara umum, asam amino dapat berperan sebagai pembentukan karbohidrat melalui gluconeogenesis.

Kadar lemak larva BSF pada perlakuan sisa nasi didapati pada urutan tertinggi dan diikuti oleh perlakuan kontrol, tulang ikan nila, dan kombinasi. Tingginya kuantitas lemak pada larva BSF perlakuan sisa nasi disebabkan karena larva belum memasuki fase prepupa, tetapi masih menyimpan sekaligus memakan pakannya guna menambah cadangan lemak dalam tubuh yang ditandai dengan warna kulit yang masih coklat muda/terang sehingga kadar lemak pada tubuh masih tersedia cukup banyak, namun sebaliknya pada perlakuan kontrol dan kombinasi, didapati kadar lemak yang rendah dan ketampakan warna larva mayoritas sudah coklat gelap/tua (Lampiran 35.). Hal ini disebabkan oleh larva yang sudah memasuki fase prepupa mengalami proses disosiasi lemak dan penggunaan lemak selama metamorfosis sehingga kadar lemak pada tubuh sedikit terkuras. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Odden *et al.* (2022) dan Liu *et al.* (2017) yang membahas penggunaan lemak selama tahap metamorfosis larva BSF, yaitu lemak bertanggung jawab dan merupakan energi utama dalam mendukung tahap tersebut, di sisi lain kadar lemak dalam tubuh “prepupa tua” (*late prepupa*) lebih rendah daripada “prepupa muda” (*early prepupa*). Hal tersebut disebabkan oleh penggunaan lemak maupun disosiasi lemak dalam proses metamorfosis. Berbeda pada larva BSF

perlakuan tulang ikan nila dengan kadar lemak terendah kedua dan masih lebih rendah daripada kontrol padahal larva tersebut masih belum termasuk ke dalam kategori *early* prepupa jika dilihat dari warna kulitnya. Hal tersebut disebabkan oleh kondisi pakan atau tulang ikan nila itu sendiri yang terlalu terlalu tinggi lemak sehingga mengakibatkan pakan menjadi berminyak, akibatnya larva kesulitan untuk mencerna atau mendekomposisi pakannya. Menurut Odden *et al.* (2022) dan Nguyen *et al.* (2013), pakan dengan kandungan lemak tinggi akan berakibat pada rendahnya kadar lemak pada larva BSF sebab larva akan kesulitan dalam mencerna dan memetabolisme kelebihan kandungan lemak tersebut yang berujung pada perpanjangan waktu pertumbuhan larva BSF.

Kadar air larva BSF pada perlakuan sisa nasi tercatat berdasarkan Gambar 4.3 merupakan yang tertinggi dan disusul oleh perlakuan kombinasi, tulang ikan nila, dan kontrol. Secara tidak langsung, kadar air larva BSF dipengaruhi oleh kadar air pada pakan. Menurut Khairuddin *et al.* (2022), kadar air pada pakan berdampak secara signifikan terhadap berat basah prepupa. Ketika larva memakan/mendekomposisi pakan, kadar air pada pakan dapat diserap di bagian usus dari larva sehingga menyebabkan peningkatan kadar air pada larva. Disisi lain, larva dapat kehilangan kuantitas air dalam tubuhnya melalui proses respirasi melewati kutikula (Benoit & Denlinger, 2010).

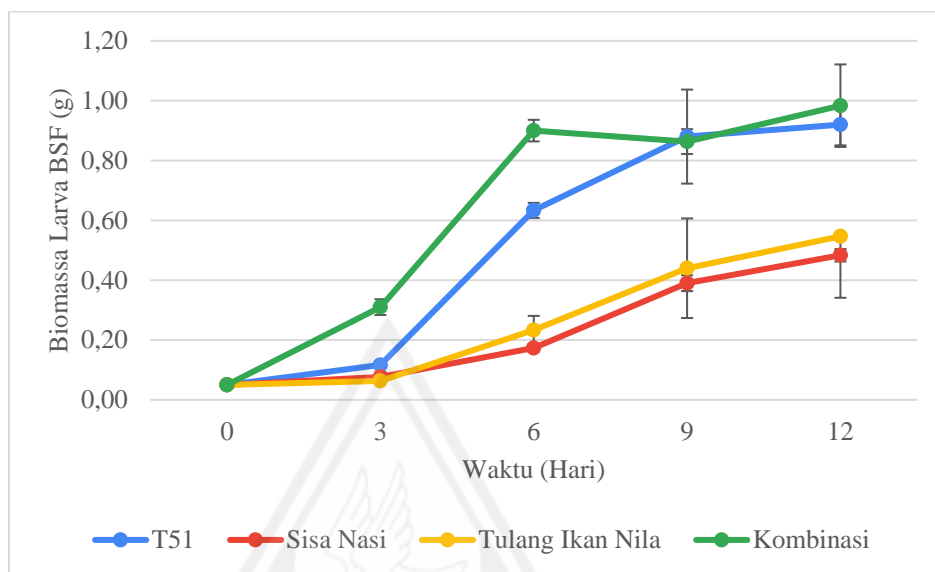
Kadar abu tertinggi pada larva BSF tercatat pada perlakuan kontrol dan diikuti oleh larva BSF pada perlakuan kombinasi, tulang ikan nila, dan sisa nasi. Menurut Spranghers *et al.* (2016) dan Makkar *et al.* (2014), kadar abu pada larva BSF dipengaruhi oleh keberadaan kadar abu pada pakan dan bahkan larva BSF itu sendiri terkonfirmasi sebagai salah satu larva dengan kuantitas kadar abu yang cukup tinggi. Larva BSF pada perlakuan tulang ikan nila mengandung lebih kecil kadar abu dibandingkan pada perlakuan

kontrol dan perlakuan kombinasi, padahal pada tulang ikan nila terkandung kuantitas kadar abu yang lebih besar daripada pakan kontrol dan kombinasi. Hal tersebut disebabkan oleh kondisi pakan tulang ikan nila yang terlalu berminyak sehingga berdampak pada penurunan kuantitas pakan yang dikonsumsi oleh larva.

Adapun apabila mengacu pada catatan nilai proksimat larva BSF (Gambar 4.3), maka larva BSF pada perlakuan tulang ikan nila berpotensi untuk dijadikan sebagai pakan unggas alternatif. Menurut Standar Nasional Indonesia (2015), kandungan nutrisi pakan optimal untuk pakan komersial unggas (ayam pedaging) yang terdata dengan nomor SNI 8173.3:2015 berupa kandungan protein kasar minimal 19%, lemak kasar maksimal 5%, kadar air maksimal 14%, dan kadar abu maksimal 8%. Sementara untuk pakan ikan, larva BSF pada perlakuan sisa nasi dapat dijadikan sebagai alternatif pakan ikan. Menurut Standar Nasional Indonesia (2006), kandungan nutrisi pakan optimal untuk pakan komersial ikan (ikan lele dumbo) yang terdata dengan nomor SNI 01-4087-2006 berupa kandungan protein 20-35%, lemak 2-10%, kadar air < 12%, dan kadar abu < 12%.

4.3.2. Biomassa Larva BSF

Bobot atau biomassa larva BSF didapatkan melalui konversi sampah organik ke dalam bentuk protein dan lemak (Siddiqui *et al.*, 2022). Adapun terkait catatan bobot/biomassa larva BSF selama penelitian tercantum pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Biomassa Larva BSF pada Perlakuan Pakan T51, Sisa Nasi, Tulang Ikan Nila, dan Kombinasi selama 12 Hari

Berdasarkan hasil penimbangan biomassa larva BSF pada Gambar 4.4, diketahui bahwa secara garis besar biomassa larva BSF dari yang tertinggi hingga terendah secara berurutan tercatat pada perlakuan kombinasi, kontrol, tulang ikan nila, dan sisa nasi selama empat hari penimbangan (Lampiran 8.). Hasil analisis One-Way ANOVA guna mengetahui perbedaan nilai rata-rata biomassa larva BSF secara signifikan dari seluruh kelompok data (Lampiran 24.), diketahui bahwa seluruh kelompok perlakuan uji terdapat perbedaan secara nyata/signifikan pada seluruh kelompok perlakuan uji untuk semua waktu penimbangan yang dibuktikan dari nilai signifikansi (Sig.) $< 0,05$. Adapun perbedaan signifikan nilai rata-rata biomassa larva BSF secara lebih terperinci terlampir pada (Lampiran 25.) dengan menggunakan uji lanjutan Duncan agar diketahui subset/grup dari kelompok data yang sama atau tidak memiliki perbedaan nilai rata-rata secara signifikan, yaitu secara ringkas tercantum pada Tabel 4.1:

Tabel 4.1 Rangkuman Uji Lanjutan Duncan Biomassa Larva BSF

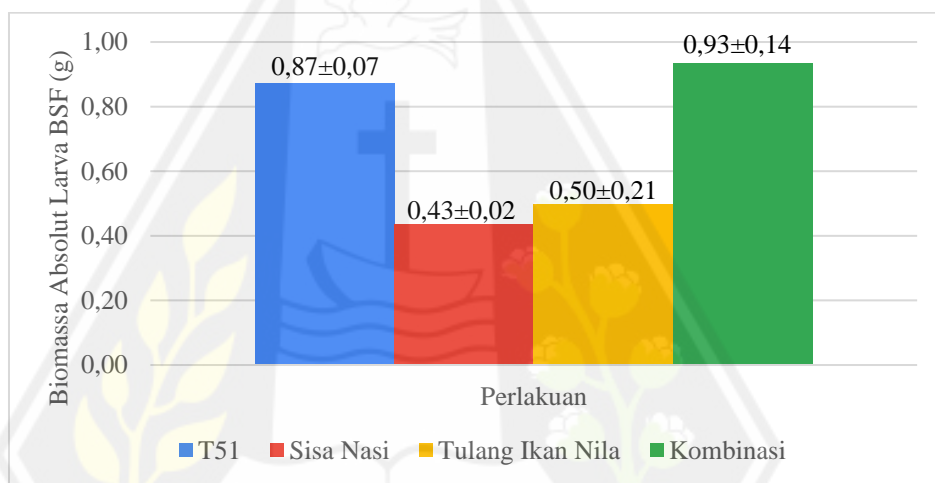
Kelompok Perlakuan	Nilai Rata-rata (g)
Hari ke-3	
Tulang ikan nila	0,0633 ^a
Sisa nasi	0,0767 ^a
Kontrol	0,1167 ^b
Kombinasi	0,3100 ^c
Hari ke-6	
Sisa nasi	0,1733 ^d
Tulang ikan nila	0,2333 ^d
Kontrol	0,6333 ^e
Kombinasi	0,9000 ^f
Hari ke-9	
Sisa nasi	0,3900 ^g
Tulang ikan nila	0,4400 ^g
Kontrol	0,8633 ^h
Kombinasi	0,8800 ^h
Hari ke-12	
Sisa nasi	0,4833 ⁱ
Tulang ikan nila	0,5467 ⁱ
Kontrol	0,9200 ^j
Kombinasi	0,9833 ^j

Keterangan: Kelompok perlakuan dengan *superscript* yang berbeda menandakan perbedaan yang signifikan secara statistik (p -value < 0,05).

Berdasarkan hasil uji Duncan pada Tabel 4.1, diketahui bahwa pada penimbangan hari ke-3 dan 6 terlihat kelompok perlakuan sisa nasi dan tulang ikan nila berada pada subset/grup yang sama (subset 1), sementara perlakuan kontrol berada pada subset 2 dan kombinasi berada pada subset 3 sehingga dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata pada kelompok perlakuan sisa nasi dan tulang ikan nila adalah sama, sedangkan pada nilai rata-rata perlakuan kontrol dan kombinasi terdapat perbedaan secara signifikan yang juga tentunya berbeda dengan perlakuan sisa nasi serta tulang ikan nila. Pada penimbangan hari ke-9 dan 12 terlihat kelompok perlakuan sisa nasi dan tulang ikan nila berada pada subset/grup yang sama (subset 1), sementara perlakuan kontrol dan kombinasi juga berada pada subset yang sama

(subset 2) sehingga dapat dikatakan bahwa rata-rata biomassa larva BSF pada kelompok perlakuan sisa nasi dan tulang ikan nila adalah sama, begitu pula dengan kelompok perlakuan kontrol dan kombinasi, namun terdapat perbedaan secara signifikan antara kedua kelompok tersebut. Data nilai rata-rata biomassa larva BSF pada Tabel 4.1 dapat diartikan bahwa pakan kontrol dan kombinasi menghasilkan larva BSF dengan biomassa akhir yang lebih tinggi dibandingkan pakan sisa nasi dan tulang ikan nila.

Adapun terkait catatan pertambahan biomassa absolut larva BSF tercantum pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Penambahan Biomassa Larva BSF pada Perlakuan Pakan T51, Sisa Nasi, Tulang Ikan Nila, dan Kombinasi selama 12 Hari

Berdasarkan hasil pertambahan total biomassa larva BSF pada Gambar 4.5, diketahui bahwa pertambahan biomassa total terbesar hingga terkecil secara berurutan didapatkan pada perlakuan kombinasi, kontrol, tulang ikan nila, dan sisa nasi (Lampiran 8.). Hasil analisis One-Way ANOVA guna mengetahui perbedaan nilai rata-rata penambahan biomassa larva BSF secara signifikan dari seluruh kelompok data (Lampiran 26.), diketahui bahwa seluruh kelompok perlakuan uji terdapat perbedaan secara nyata/signifikan [(Sig.) < 0,05]. Adapun perbedaan signifikan nilai rata-rata

penambahan biomassa larva BSF secara lebih terperinci terlampir pada (Lampiran 27.) dengan menggunakan uji lanjutan Duncan agar diketahui subset/grup dari kelompok data yang sama atau tidak memiliki perbedaan nilai rata-rata secara signifikan, yaitu secara ringkas tercantum pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rangkuman Uji Lanjutan Duncan Biomassa Absolut Larva BSF

Kelompok Perlakuan	Nilai Rata-rata (g)
Sisa nasi	0,4333 ^a
Tulang ikan nila	0,4967 ^a
Kontrol	0,8700 ^b
Kombinasi	0,9333 ^b

Keterangan: Kelompok perlakuan dengan *superscript* yang berbeda menandakan perbedaan yang signifikan secara statistik ($p\text{-value} < 0,05$).

Berdasarkan hasil uji Duncan pada Tabel 4.2, diketahui bahwa pertambahan biomassa total pada kelompok perlakuan sisa nasi dan tulang ikan nila berada pada subset/grup yang sama (subset 1), sementara perlakuan kontrol dan kombinasi berada pada subset 2 sehingga dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata pada kelompok perlakuan sisa nasi dan tulang ikan nila adalah sama, sedangkan pada nilai rata-rata perlakuan kontrol dan kombinasi pun sama, namun terdapat perbedaan secara signifikan antara perlakuan sisa nasi dan tulang ikan nila dengan perlakuan kontrol dan kombinasi. Data nilai rata-rata pertambahan biomassa absolut larva BSF pada Tabel 4.2 dapat diartikan bahwa pakan kontrol dan kombinasi menyebabkan pertambahan biomassa absolut lebih tinggi dibandingkan pakan sisa nasi dan tulang ikan nila.

Perbedaan pertambahan biomassa absolut selama pemeliharaan (Gambar 4.5) yang berdampak pada biomassa akhir larva BSF (Gambar 4.4) secara garis besar disebabkan oleh perbedaan kualitas dan nutrien yang terkandung pada pakan. Pakan dengan variasi

nutrien disebut sebagai pakan paling optimal bagi pertumbuhan larva BSF, baik itu dari segi kecepatan pertumbuhan memasuki fase prepupa maupun biomassa larva BSF. Larva BSF dengan perlakuan kontrol dan kombinasi mayoritas sudah berwarna coklat kehitaman yang menandakan bahwa larva BSF telah menjadi “prepupa tua” sehingga dapat dikatakan bahwa pakan kontrol dan kombinasi dapat mempercepat pertumbuhan larva BSF. Sementara, dari segi biomassa larva BSF telah terdata pada Gambar 4.4, larva BSF dengan perlakuan kontrol dan kombinasi pada seluruh kegiatan penimbangan didapatkan lebih berat daripada perlakuan sisa nasi dan tulang ikan nila. Hal tersebut didukung oleh pernyataan Barragan-Fonseca (2018) dan Nguyen *et al.* (2013), yakni ketersediaan komposisi pakan dengan proporsi yang seimbang antara kalori, protein, dan lemak berdampak pada peningkatan biomassa dan laju pertumbuhan larva BSF yang lebih baik daripada pakan dengan tinggi kandungan protein saja. Biomassa larva BSF tertinggi didapatkan ketika pakan mengandung tinggi karbohidrat dan protein, namun pakan tinggi karbohidrat dengan kadar protein rendah maupun sedang juga dapat menginisiasi peningkatan biomassa larva BSF lebih efisien. Sedangkan, kadar karbohidrat dan protein yang rendah pada pakan akan menyebabkan biomassa larva BSF lebih kecil.

Menurut Cammack & Tomberlin (2017), pakan spesifik berbasis tinggi karbohidrat dapat menyebabkan perpanjangan waktu pertumbuhan larva BSF. Kandungan nutrien pada pakan sisa nasi diketahui tinggi akan karbohidrat, namun tidak pada kandungan lemaknya sehingga larva BSF akan membutuhkan waktu yang lebih lama guna mengumpulkan asupan lemak yang berfungsi sebagai cadangan tenaga ketika larva BSF telah berubah menjadi imago (Nguyen *et al.*, 2013). Disamping itu, pakan sisa nasi yang digunakan sedikit berair/basah akibat adanya proses fermentasi oleh

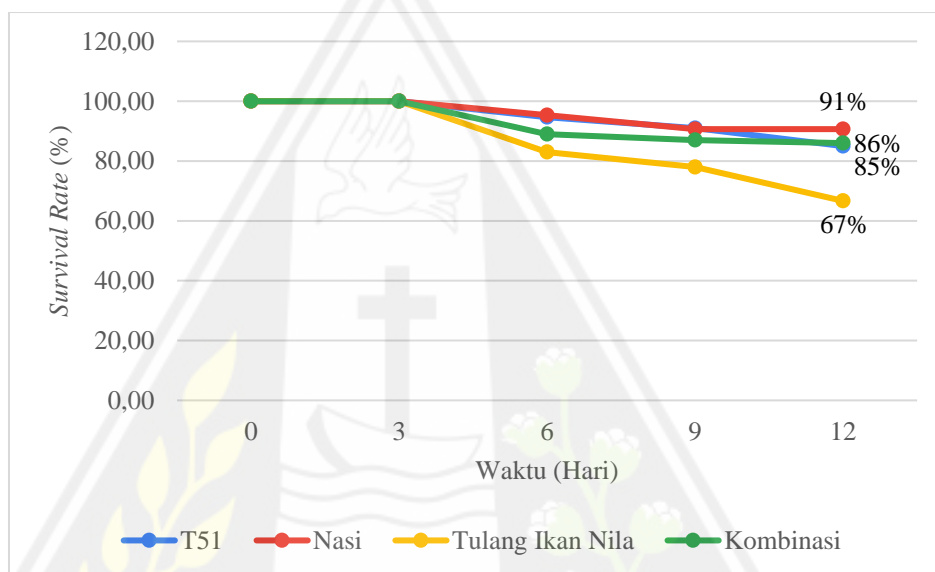
mikroba pengurai sehingga kurang baik/cocok untuk dijadikan sebagai pakan larva BSF, akibatnya pertumbuhan larva BSF menjadi sedikit terhambat (Wahyuni *et al.*, 2021; Lalander *et al.*, 2020). Menurut Kalová & Borkovcová (2013), pakan yang terlalu basah mengakibatkan pertumbuhan larva BSF menjadi lebih panjang, walaupun larva BSF masih dapat hidup atau bertahan pada pakan tersebut.

Perpanjangan waktu pertumbuhan larva BSF pada pakan tulang ikan nila disebabkan oleh kondisi pakan yang terlalu tinggi kandungan lemak sehingga mengakibatkan pakan menjadi berminyak yang berdampak pada sulitnya larva BSF dalam mencerna, memetabolisme, dan memecah kelebihan lemak tersebut (Wong *et al.*, 2019; Nguyen *et al.*, 2013). Akibatnya, asupan nutrisi yang masuk ke dalam tubuh larva BSF menurun dan berdampak pada biomassa/bobot larva BSF yang lebih kecil.

Berdasarkan hasil analisis korelasi antara nutrisi pakan dengan biomassa larva BSF melalui uji Spearman (Lampiran 19.), diketahui bahwa tidak adanya hubungan yang signifikan diantara kedua variabel tersebut [(Sig. > 0,05)]. Adapun hal ini disebabkan oleh faktor lain, seperti perbedaan frekuensi konsumsi larva BSF diantara seluruh perlakuan uji. Sementara, analisis korelasi antara nutrisi larva BSF dengan biomassa larva BSF melalui uji Pearson (Lampiran 20.), didapatkan tidak ada hubungan yang signifikan diantara keduanya. Hal tersebut disebabkan oleh tidak semua nutrisi yang terdapat pada larva BSF berperan sebagai penambah biomassa larva BSF, tetapi utamanya dalam mendukung pertumbuhan larva BSF hingga memasuki fase berikutnya sehingga penurunan nutrisi pada larva BSF tidak serta-merta mengakibatkan penurunan biomassa larva BSF secara signifikan.

4.3.3. *Survival Rate*

Survival rate atau persentase kehidupan larva BSF menggambarkan seberapa banyak jumlah larva BSF yang dapat bertahan hidup hingga akhir penelitian atau selama 12 hari penelitian apabila dibandingkan dengan jumlah larva BSF awal. Adapun terkait catatan persentase *survival rate* larva BSF selama penelitian tercantum pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Persentase Kehidupan Larva BSF pada Perlakuan Pakan T51, Sisa Nasi, Tulang Ikan Nila, dan Kombinasi selama 12 Hari

Berdasarkan hasil pengukuran persentase *survival rate* pada Gambar 4.6, diketahui bahwa urutan persentase tertinggi hingga terendah pada pengukuran hari terakhir didapatkan pada perlakuan sisa nasi, kombinasi, kontrol, dan tulang ikan nila (Lampiran 14.). Hasil analisis Kruskal-Wallis H untuk mengetahui perbedaan signifikan nilai rata-rata persentase *survival rate* dari seluruh kelompok data (Lampiran 34.), diketahui bahwa nilai rata-rata persentase *survival rate* pada seluruh kelompok perlakuan uji selama empat kali pengukuran adalah sama atau tidak terdapat perbedaan secara signifikan/nyata (Asymp. Sig. > 0,05). Kesamaan

nilai rata-rata *survival rate* melalui hasil analisis mengindikasikan bahwa seluruh jenis pakan dinilai cocok atau dapat dijadikan sebagai pakan larva BSF, sebab tidak adanya catatan kegagalan yang ditandai dengan kematian larva BSF hingga 100% (Lampiran 13.). Berdasarkan penelitian Broeckx *et al.* (2021), larva BSF dengan substrat berupa limbah makanan industri dan sisa makanan rumah tangga menghasilkan persentase kehidupan larva masing-masing sebesar 88,8% dan 83,2%. Penelitian lain oleh Khairuddin *et al.* (2022) mengungkapkan bahwa substrat berupa sisa makanan menghasilkan persentase kehidupan larva sebesar 95%.

Persentase *survival rate* larva BSF yang cukup tinggi menggambarkan bahwa larva BSF dapat hidup dan bertumbuh pada seluruh jenis pakan yang diujikan, namun terlihat pada Gambar 4.6 bahwa persentase kehidupan larva BSF pada pakan tulang ikan nila tercatat mengalami penurunan yang cukup signifikan setelah hari ke-3 pengukuran hingga berakhir pada angka 67% pada hari terakhir pengukuran. Hal tersebut disebabkan oleh ukuran dari tulang ikan nila yang masih cukup besar sehingga membuat pakan menjadi sedikit tebal, akibatnya diduga terjadi penurunan ketersediaan/suplai oksigen. Menurut Dortmans *et al.* (2017), ketersediaan oksigen merupakan kondisi yang esensial guna menunjang pertumbuhan sekaligus kelangsungan hidup larva BSF. Menurut Barragan-Fonseca *et al.* (2017) dan Makkar *et al.* (2014), lapisan pakan yang terlalu tebal dapat mengakibatkan penurunan *survival rate* larva BSF yang dikaitkan dengan minimnya ketersediaan oksigen akibat kurangnya aerasi udara, terlebih lagi tebalnya lapisan pakan berpotensi menyebabkan larva BSF kesulitan untuk bergerak ke “permukaan” atau bagian atas guna mendapat suplai oksigen. Penyebab penurunan persentase kehidupan larva BSF lain pada perlakuan tulang ikan nila yakni akibat adanya kasus kanibalisme antar larva yang dilandasi oleh tingginya kepadatan populasi larva,

tetapi tidak diimbangi dengan ketersediaan sumber pakan dari segi kualitas maupun kuantitasnya. Menurut penelitian Nguyen (2010), kasus kanibalisme antar larva BSF dapat terjadi akibat kepadatan larva yang tinggi, tetapi terdapat keterbatasan jumlah pakan sehingga perilaku tersebut diduga untuk meminimalkan adanya kompetisi dalam memperoleh pakan. Namun, kanibalisme antar larva merupakan kasus langka yang dapat terjadi akibat perbedaan ukuran dan/atau umur larva selama pemeliharaan dengan kelangkaan sumber pakan.

Terkait dengan potensi keberadaan predator selama pemeliharaan larva BSF, ditemukan tiga predator utama, yaitu tikus, semut, dan kadal yang dapat mengancam kelangsungan hidup larva BSF sebab predator tersebut dapat memangsa larva BSF (Barrett *et al.*, 2022; Fluker's Cricket Farm, 2020; Park, 2016). Walaupun terdapat ancaman terkait ketiga predator tersebut, namun kelangsungan hidup larva BSF tidak sepenuhnya terganggu, sebab dari desain kandang pemeliharaan (Gambar 3.1), diketahui terdapat cuka yang mampu menghalau keberadaan predator sekaligus pemasangan paranet dan kawat strimin yang secara tidak langsung dapat mencegah masuknya predator berukuran besar. Menurut DeAngelis (2023), Fox Pest Control (2022), dan Khan *et al.*, (2019), cuka merupakan salah satu cara alami untuk mengusir keberadaan tikus, kadal, dan semut sebab bau/aroma cuka yang menyengat membuat predator tersebut tidak tahan untuk mendekat atau dengan kata lain, bau yang dihasilkan dari pakan larva BSF akan tertutupi atau kalah dengan bau menyengat cuka sehingga predator tidak dapat mencium ataupun menemukan keberadaan pakan.

Adapun data yang terlampir pada Lampiran 13., diketahui bahwa seluruh perlakuan mengalami penurunan jumlah larva BSF selama pemeliharaan. Penurunan tersebut disebabkan oleh padatnya keberadaan larva BSF dalam satu wadah/kandang pemeliharaan,

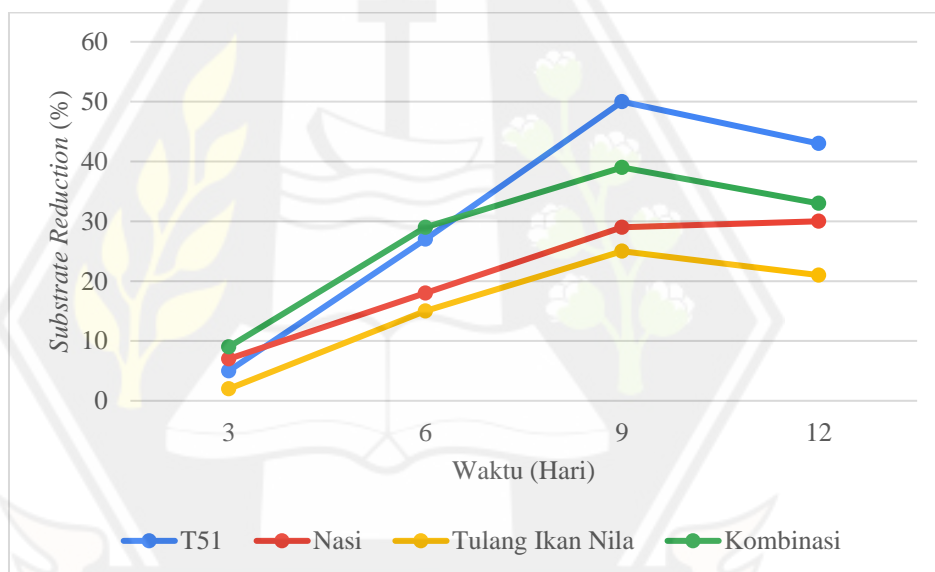
walaupun jumlah larva BSF dalam setiap kandang pemeliharaan sudah disesuaikan berdasarkan pernyataan Kim *et al.* (2021). Menurut Barragan-Fonseca *et al.* (2017), ukuran wadah/kandang pemeliharaan harus dipertimbangkan dengan kepadatan larva BSF. Rata-rata kepadatan optimum larva BSF dalam satu wadah adalah sebesar 1,4 larva/cm² sehingga apabila disesuaikan dengan kandang pemeliharaan yang digunakan (12 cm x 8 cm), maka luasan kandang adalah 96 cm² dan untuk kepadatan optimum larva BSF pada ukuran kandang tersebut diperkirakan sebanyak 134 larva, sementara jumlah larva yang digunakan sebesar 150 larva sehingga memungkinkan terjadi penurunan jumlah larva selama pemeliharaan. Ketika kepadatan populasi larva BSF melebihi kisaran optimal, maka akan berdampak pada penurunan kelangsungan hidup (*survival rate*) akibat adanya kompetisi di dalam koloni tersebut, sebagai contoh kasus kanibalisme antar larva yang dianggap sebagai strategi pertahanan hidup dengan mengurangi kepadatan larva sekaligus meminimalkan persaingan antar larva dalam mendapatkan pakan (Kim *et al.*, 2021; Nguyen, 2010).

Hasil analisis korelasi Spearman antara nutrisi pakan dengan *survival rate* larva BSF yang terlampir pada (Lampiran 18.) menunjukkan nilai signifikansi (*p-value*) > 0,05 yakni sebesar 0,291 sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat hubungan yang signifikan antara nutrisi pakan dengan *survival rate* larva BSF. Sementara, untuk mengetahui pengaruh antar nutrisi pakan sebagai variabel independen terhadap *survival rate* larva BSF sebagai variabel dependen digunakan analisis regresi linear sederhana. Hasil analisis regresi menunjukkan nilai signifikansi (*p-value*) > 0,05 yakni sebesar 0,657 (Lampiran 18.) sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak ada pengaruh antar nutrisi pakan dengan *survival rate* larva BSF. Hal tersebut disebabkan oleh seluruh jenis pakan yang

digunakan telah mengandung komposisi nutrisi yang dapat menginisiasi pertumbuhan dan kelangsungan hidup larva BSF sehingga *survival rate* larva BSF dipengaruhi oleh faktor lainnya, seperti ketersediaan oksigen, kepadatan larva, dan ukuran pakan. Disisi lain, tidak adanya cemaran bahan kimia ataupun logam berat pada pakan yang bersifat toksik.

4.3.4. *Substrate Reduction*

Penurunan kuantitas substrat/pakan (*substrate reduction*) menggambarkan seberapa banyak pakan dapat dikonsumsi oleh larva BSF dari total banyaknya pakan yang tersedia. Adapun terkait catatan persentase *substrate reduction* selama penelitian tercantum pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Penurunan Kuantitas Pakan oleh Larva BSF pada Perlakuan Pakan T51, Sisa Nasi, Tulang Ikan Nila, dan Kombinasi selama 12 Hari

Berdasarkan hasil pengukuran persentase pengurangan kuantitas pakan (*substrate reduction*) pada Gambar 4.7, diketahui bahwa urutan pengurangan kuantitas pakan dari yang tertinggi hingga terendah didapatkan pada perlakuan kontrol, kombinasi, sisa nasi,

dan tulang ikan nila (Lampiran 10.). Hasil analisis One-Way ANOVA dan Kruskal-Wallis H guna mengetahui perbedaan nilai rata-rata *substrate reduction* secara signifikan dari seluruh kelompok data (Lampiran 28.), diketahui bahwa seluruh kelompok perlakuan uji terdapat perbedaan secara nyata/signifikan untuk semua waktu pengukuran [(Sig.) < 0,05], kecuali pada hari ke-9 [(Sig.) > 0,05]. Adapun perbedaan signifikan nilai rata-rata *substrate reduction* secara lebih terperinci terlampir pada Lampiran 29. dengan menggunakan uji lanjutan Duncan agar diketahui subset/grup dari kelompok data yang sama atau tidak memiliki perbedaan nilai rata-rata secara signifikan, yaitu secara ringkas tercantum pada Tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Rangkuman Uji Lanjutan Duncan *Substrate Reduction*

Kelompok Perlakuan	Nilai Rata-rata (x100%)
Hari ke-3	
Tulang ikan nila	0,0223 ^a
Kontrol	0,0467 ^b
Sisa nasi	0,0690 ^{bc}
Kombinasi	0,0913 ^c
Hari ke-6	
Tulang ikan nila	0,1487 ^d
Sisa nasi	0,1757 ^{de}
Kontrol	0,2667 ^{ef}
Kombinasi	0,2913 ^f
Hari ke-12	
Tulang ikan nila	0,2050 ^g
Sisa nasi	0,3033 ^{gh}
Kombinasi	0,3267 ^{hi}
Kontrol	0,4317 ⁱ

Keterangan: Kelompok perlakuan dengan *superscript* yang berbeda menandakan perbedaan yang signifikan secara statistik ($p\text{-value} < 0,05$).

Berdasarkan hasil uji Duncan pada Tabel 4.3, diketahui bahwa pada pengukuran hari ke-3 terlihat perlakuan tulang ikan nila berada pada subset 1, perlakuan kontrol dan sisa nasi berada pada subset

yang sama (subset 2), dan perlakuan sisa nasi dengan kombinasi berada pada subset yang sama pula (subset 3) sehingga dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata pada kelompok perlakuan kontrol dan sisa nasi adalah sama yang juga berlaku pada nilai rata-rata perlakuan sisa nasi dan kombinasi, namun bukan berarti nilai rata-rata perlakuan kontrol dan kombinasi adalah sama. Pada pengukuran hari ke-6 dan 12 diketahui bahwa nilai rata-rata perlakuan tulang ikan nila dan sisa nasi adalah sama, kemudian kesamaan nilai rata-rata pun terlihat pada perlakuan sisa nasi dengan kontrol (hari ke-6) atau kombinasi (hari ke-9), begitu juga dengan nilai rata-rata perlakuan kontrol dan kombinasi yang adalah sama. Data nilai rata-rata *substrate reduction* oleh larva BSF pada Tabel 4.3 dapat diartikan bahwa secara statistik, kemampuan larva BSF dalam mereduksi kuantitas pakan kurang lebih sama pada jenis pakan kontrol dan kombinasi, begitu juga dengan pakan kombinasi dan sisa nasi, serta pakan sisa nasi dan tulang ikan nila.

Adapun penurunan kuantitas pakan yang tinggi disebabkan oleh kondisi pakan itu sendiri serta tingkat kesukaan larva BSF terhadap pakan (palatabilitas). Menurut Barragan-Fonseca (2018) dan Dortmans *et al.* (2017), dari segi palatabilitas, larva BSF cenderung lebih menyukai pakan tinggi lemak guna memfasilitasi pertumbuhan dan mempersingkat waktu selama menjadi larva. Pakan dengan kandungan lemak yang tinggi dapat menstimulasi pertumbuhan larva BSF lebih cepat dalam memasuki fase pupa hingga imago, tetapi secara garis besar, pakan dengan proporsi kalori, protein, dan lemak yang seimbang juga disukai oleh larva BSF dalam menginisiasi pertumbuhan dan peningkatan biomassa larva BSF daripada pakan dengan tinggi kandungan protein saja. Sedangkan, dari segi kondisi pakan, kondisi pakan yang optimal untuk diberikan guna meningkatkan “nafsu makan” larva BSF dapat dilihat dari bentuknya. Pakan bertekstur halus dapat memudahkan penyerapan

nutrisi oleh larva BSF serta ketebalan pakan juga perlu diperhatikan sebab pakan yang terlalu tebal dapat menghambat kemampuan asupan pakan larva BSF sehingga berujung pada penurunan ketahanan hidup dan perpanjangan waktu pertumbuhan larva BSF. Kondisi pakan yang terlalu berminyak ataupun berair juga dapat berpengaruh terhadap kemampuan makan larva BSF yang berdampak pada rendahnya penurunan kuantitas pakan, sebab kondisi pakan berminyak dapat menyulitkan larva BSF dalam mencerna dan memetabolisme pakannya, sementara pakan yang cenderung basah dapat memperpanjang waktu pertumbuhan larva BSF sebab terdapat kecenderungan terjadinya penurunan asupan makan oleh larva BSF (Kalová & Borkovcová, 2013; Nguyen *et al.*, 2013).

Apabila mengacu pada catatan persentase *substrate reduction* pada Gambar 4.7, diketahui terdapat penurunan kuantitas pakan yang lebih kecil pada pengamatan hari ke-12 pada seluruh perlakuan (kecuali pada perlakuan sisa nasi) daripada pengamatan hari-hari sebelumnya. Hal tersebut disebabkan oleh mayoritas larva BSF yang telah memasuki fase prepupa dengan perubahan warna menjadi coklat kehitaman/gelap dan kecukupan nutrisi dalam tubuh larva BSF guna memasuki fase pupa telah tercapai, sementara pada perlakuan sisa nasi terlihat penurunan kuantitas pakan terus meningkat dari hari ke-3 hingga 12, sebab “status” larva BSF yang masih terus bertumbuh dan mengumpulkan nutrisi guna memasuki fase pupa. Menurut Rohmanna & Maharani (2022) dan Wahyuni *et al.* (2021), larva yang telah memasuki fase prepupa akan berhenti untuk mendekomposisi pakannya sebab kebutuhan nutrisi dalam tubuhnya telah terpenuhi guna memasuki fase pupa. Namun terlihat pada perlakuan tulang ikan nila yang juga terdapat penurunan kuantitas pakan yang lebih kecil pada pengamatan hari ke-12 padahal larva BSF belum memasuki fase prepupa sehingga larva

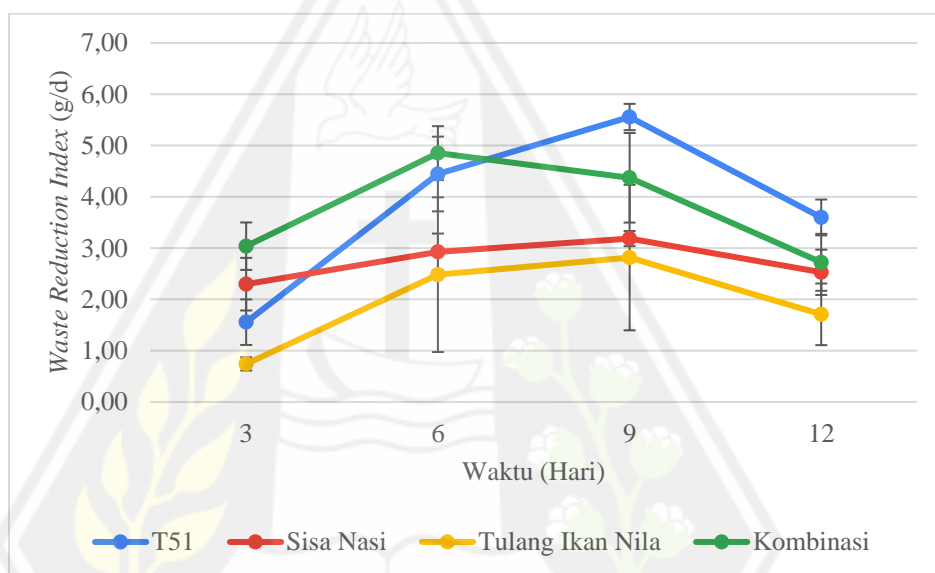
BSF masih aktif mendekomposisi pakannya, tetapi penurunan kuantitas pakan tidak sama dengan perlakuan sisa nasi yang kuantitas penurunannya meningkat pada hari ke-12. Hal tersebut disebabkan oleh banyaknya larva BSF yang mati pada perlakuan pakan tulang ikan nila (Lampiran 13.) sehingga walaupun larva BSF masih aktif mendekomposisi pakannya guna memenuhi kebutuhan nutrisi bagi pertumbuhannya, namun apabila jumlah larva BSF semakin menurun, maka banyaknya pakan yang terdekomposisi juga akan menurun. Menurut Jucker *et al.* (2020), penurunan kuantitas pakan yang rendah dapat disebabkan oleh lambatnya pergerakan pakan terkonsumsi di dalam usus larva BSF yang berdampak pada peningkatan aktivitas asimilasi nutrisi. Persentase *substrate reduction* pada perlakuan tulang ikan nila tercatat yang terendah, sebab kondisi pakan yang terlalu tinggi lemak sehingga mengakibatkan pakan menjadi berminyak dan mengakibatkan penurunan tingkat konsumsi pakan, sebab larva BSF kesulitan untuk mencerna, memetabolisme, dan memecah kelebihan lemak pada pakan sehingga pergerakan pakan tersebut akan melambat di dalam usus larva BSF.

Berdasarkan hasil analisis korelasi antara nutrisi larva BSF dengan *substrate reduction* melalui uji Pearson (Lampiran 21.), diketahui bahwa pengujian korelasi tersebut tidak mendapatkan hasil yang signifikan (Sig. > 0,05) atau dapat dikatakan tidak terdapat hubungan yang nyata antara nutrisi larva BSF terhadap *substrate reduction*. Adapun hal ini disebabkan oleh adanya penggunaan nutrisi larva BSF selama tahap metamorfosis sehingga tidak dapat dipastikan bahwa besarnya penurunan kuantitas pakan berbanding lurus dengan nutrisi larva BSF atau dengan kata lain ketika terjadi penurunan kuantitas pakan secara signifikan maka belum tentu nutrisi larva BSF akan meningkat secara drastis sebab larva BSF itu sendiri juga akan menggunakan cadangan nutrisi

dalam tubuhnya guna menginisiasi tahap metamorfosis sehingga tentu akan terjadi penurunan jumlah nutrisi dalam tubuh larva BSF.

4.3.5. Waste Reduction Index

Waste reduction index (WRI) atau indeks pengurangan sampah (gram/hari) menggambarkan kemampuan larva BSF dalam mengurangi kuantitas substrat dalam satuan waktu tertentu (Jucker *et al.*, 2020). Adapun terkait catatan nilai WRI selama penelitian tercantum pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Nilai *Waste Reduction Index* oleh Larva BSF pada Perlakuan Pakan T51, Sisa Nasi, Tulang Ikan Nila, dan Kombinasi selama 12 Hari

Berdasarkan hasil pengukuran nilai *waste reduction index* (WRI) pada Gambar 4.8, diketahui bahwa urutan nilai tertinggi hingga terendah didapatkan pada perlakuan kontrol, kombinasi, sisa nasi, dan tulang ikan nila (Lampiran 11.). Hasil analisis One-Way ANOVA dan Kruskal-Wallis H guna mengetahui perbedaan nilai rata-rata WRI secara signifikan dari seluruh kelompok data (Lampiran 30.), diketahui bahwa seluruh kelompok perlakuan uji terdapat perbedaan secara nyata/signifikan untuk semua waktu

pengukuran [(Sig.) < 0,05], kecuali pada hari ke-9 [(Sig.) > 0,05]. Adapun perbedaan signifikan nilai rata-rata WRI secara lebih terperinci terlampir pada (Lampiran 31.) dengan menggunakan uji lanjutan Duncan agar diketahui subset/grup dari kelompok data yang sama atau tidak memiliki perbedaan nilai rata-rata secara signifikan, yaitu secara ringkas tercantum pada Tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.4 Rangkuman Uji Lanjutan Duncan *Waste Reduction Index*

Kelompok Perlakuan	Nilai Rata-rata (g/hari)
Hari ke-3	
Tulang ikan nila	0,74333 ^a
Kontrol	10,55667 ^b
Sisa nasi	20,29667 ^{bc}
Kombinasi	30,04000 ^c
Hari ke-6	
Tulang ikan nila	20,48333 ^d
Sisa nasi	20,92667 ^{de}
Kontrol	40,44667 ^{ef}
Kombinasi	40,85000 ^f
Hari ke-12	
Tulang ikan nila	10,71000 ^g
Sisa nasi	20,53000 ^{gh}
Kombinasi	20,72000 ^{hi}
Kontrol	30,60000 ⁱ

Keterangan: Kelompok perlakuan dengan *superscript* yang berbeda menandakan perbedaan yang signifikan secara statistik (p -value < 0,05).

Berdasarkan hasil uji Duncan pada Tabel 4.4, diketahui bahwa pada pengukuran hari ke-3 terlihat perlakuan tulang ikan nila berada pada subset 1, perlakuan kontrol dan sisa nasi berada pada subset yang sama (subset 2), dan perlakuan sisa nasi dengan kombinasi berada pada subset yang sama pula (subset 3) sehingga dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata pada kelompok perlakuan kontrol dan sisa nasi adalah sama yang juga berlaku pada nilai rata-rata perlakuan sisa nasi dan kombinasi, namun bukan berarti nilai rata-rata perlakuan kontrol dan kombinasi adalah sama. Pada pengukuran

hari ke-6 dan 12 diketahui bahwa nilai rata-rata perlakuan tulang ikan nila dan sisa nasi adalah sama, kemudian kesamaan nilai rata-rata pun terlihat pada perlakuan sisa nasi dengan kontrol (hari ke-6) atau kombinasi (hari ke-9), begitu juga dengan nilai rata-rata perlakuan kontrol dan kombinasi yang adalah sama. Data nilai rata-rata WRI pada Tabel 4.4 dapat diartikan bahwa secara statistik, larva BSF pada jenis pakan kontrol dan kombinasi menghasilkan nilai WRI yang kurang lebih sama, begitu juga dengan pakan kombinasi dan sisa nasi, serta pakan sisa nasi dan tulang ikan nila.

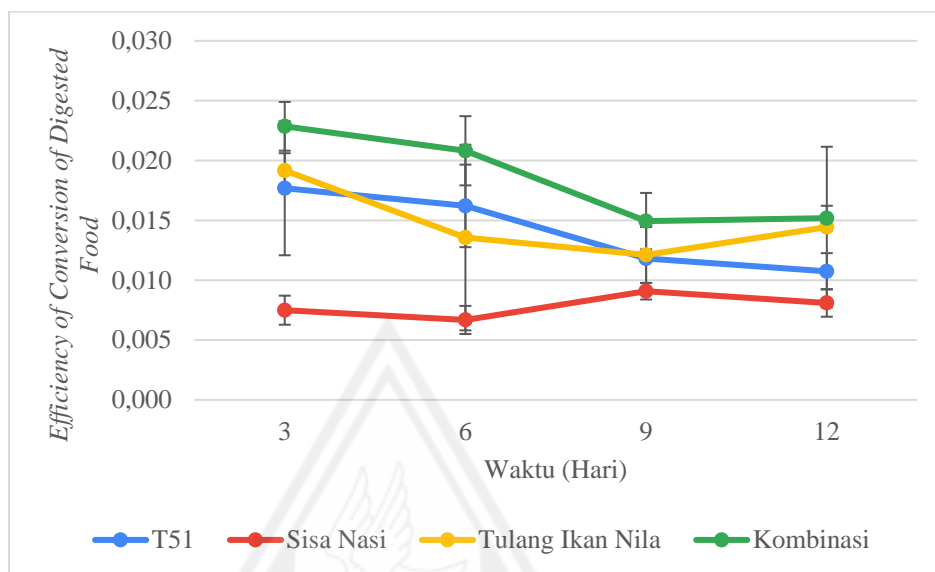
Nilai WRI berbanding lurus dengan tingkat kemampuan larva BSF dalam mereduksi kuantitas pakannya. Ketika nilai WRI tinggi, maka dapat dikatakan bahwa kemampuan larva BSF dalam mendekomposisi pakannya juga tinggi sehingga berdampak pada peningkatan persentase *substrate reduction*. Berdasarkan catatan data pada Gambar 4.8, diketahui bahwa rata-rata nilai WRI tertinggi tercapai pada pengukuran hari ke-9 pada seluruh perlakuan uji dan menurun pada akhir waktu pengukuran, kecuali pada perlakuan kombinasi yang mencapai nilai tertinggi pada pengukuran hari ke-6, kemudian nilai WRI mulai menurun hingga akhir waktu pengukuran. Adapun hal tersebut disebabkan oleh larva BSF telah mencapai batas maksimum dalam mengonsumsi pakannya akibat sudah terlalu banyak pakan yang dikonsumsi sehingga kemampuannya dalam mendekomposisi pakan kemudian akan menurun. Larva BSF sudah tidak makan ketika telah menjadi prepupa sehingga walaupun diberi penambahan dan pembaruan kuantitas serta kualitas pakan pada hari ke-9, kemampuan larva BSF dalam mendekomposisi pakannya tidak akan meningkat ketika telah menjadi prepupa.

Menurut Jucker *et al.*, (2020) dan Hakim *et al.* (2017), nilai WRI berbanding lurus dengan tingkat kemampuan larva BSF dalam mereduksi kuantitas substrat, namun terkadang terdapat kondisi

larva BSF yang sudah tidak dapat mengonsumsi pakannya lagi sebab kuantitas pakan terlalu banyak sehingga menyebabkan perbandingan kuantitas pakan terkonsumsi jauh lebih kecil terhadap kuantitas pakan yang diberikan, akibatnya nilai WRI pun menjadi kecil. Pada perlakuan kombinasi tercatat bahwa nilai WRI cenderung menurun setelah pengukuran hari ke-6 yang disebabkan oleh mayoritas larva BSF telah memasuki fase prepupa setelah hari ke-6 sehingga menyebabkan penurunan kuantitas pakan menjadi lebih sedikit, begitu pula pada nilai WRI perlakuan kontrol pengukuran hari ke-12 sebab tidak adanya aktivitas makan selama fase prepupa (Wahyuni *et al.*, 2021). Pada perlakuan sisa nasi dan tulang ikan nila tercatat bahwa nilai WRI setelah hari ke-9 mengalami penurunan padahal larva BSF belum memasuki fase prepupa yang berarti larva BSF masih aktif memakan pakannya sehingga penurunan kuantitas pakan dan dampaknya terhadap nilai WRI seharusnya masih tinggi. Adapun hal tersebut disebabkan oleh lapisan pakan yang ada terlalu tebal akibat adanya pemberian kuantitas pakan pada hari ke-9 sehingga menyebabkan ketersediaan oksigen pada lapisan dalam pakan menurun dan mengakibatkan kematian larva BSF, terlebih lagi ukuran pakan yang ditambahkan masih cukup besar sehingga larva BSF membutuhkan energi ekstra dalam mendekomposisi pakannya dan hal tersebut berdampak pada penurunan laju biokonversi serta pertumbuhan larva BSF (Seyedalmoosavi *et al.*, 2022).

4.3.6. *Efficiency of Conversion of Digested Food*

Efficiency of conversion of digested food atau dikenal sebagai efisiensi konversi pakan (ECD/ECI) oleh larva BSF menggambarkan seberapa efisien larva BSF dalam mengonversi nutrisi pada pakan yang telah dikonsumsi menjadi biomassa bagi tubuhnya (Jucker *et al.*, 2020). Adapun terkait catatan nilai ECD selama penelitian tercantum pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Nilai *Efficiency of Conversion of Digested Food* Larva BSF pada Perlakuan Pakan T51, Sisa Nasi, Tulang Ikan Nila, dan Kombinasi selama 12 Hari

Berdasarkan hasil pengukuran nilai *efficiency of conversion of digested food* (ECD) pada Gambar 4.9, diketahui bahwa urutan nilai tertinggi hingga terendah didapatkan pada perlakuan kombinasi, tulang ikan nila, kontrol, dan sisa nasi (Lampiran 12.). Hasil analisis One-Way ANOVA dan Kruskal-Wallis H guna mengetahui perbedaan nilai rata-rata ECD secara signifikan dari seluruh kelompok data (Lampiran 32.), diketahui bahwa seluruh kelompok perlakuan uji terdapat perbedaan secara nyata/signifikan hanya untuk waktu pengukuran hari ke-3 dan 6 [(Sig.) < 0,05], sementara pada waktu pengukuran hari ke-9 dan 12 tidak terdapat perbedaan secara nyata/signifikan [(Sig.) > 0,05]. Adapun perbedaan signifikan nilai rata-rata ECD secara lebih terperinci terlampir pada Lampiran 33. dengan menggunakan uji lanjutan Duncan agar diketahui subset/grup dari kelompok data yang sama atau tidak memiliki perbedaan nilai rata-rata secara signifikan, yaitu secara ringkas tercantum pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Rangkuman Uji Lanjutan Duncan *Efficiency of Conversion of Digested Food*

Kelompok Perlakuan	Nilai Rata-rata
Hari ke-3	
Sisa nasi	0,00767 ^a
Kontrol	0,01767 ^b
Tulang ikan nila	0,01933 ^b
Kombinasi	0,02300 ^b
Hari ke-6	
Sisa nasi	0,00667 ^c
Tulang ikan nila	0,01367 ^{cd}
Kontrol	0,01600 ^d
Kombinasi	0,02100 ^d

Keterangan: Kelompok perlakuan dengan *superscript* yang berbeda menandakan perbedaan yang signifikan secara statistik ($p\text{-value} < 0,05$).

Berdasarkan hasil uji Duncan pada Tabel 4.5, diketahui bahwa pada pengukuran hari ke-3 terlihat perlakuan sisa nasi berada pada subset 1, sedangkan perlakuan lainnya, yakni kontrol, sisa nasi, dan kombinasi berada pada subset yang sama (subset 2) sehingga dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata pada kelompok perlakuan kontrol, sisa nasi, dan kombinasi adalah sama, tetapi berbeda dengan perlakuan sisa nasi. Pada pengukuran hari ke-6 diketahui bahwa nilai rata-rata perlakuan sisa nasi dan tulang ikan nila adalah sama, kemudian kesamaan nilai rata-rata pun terlihat pada perlakuan tulang ikan nila dengan kontrol dan kombinasi. Data nilai rata-rata ECD pada Tabel 4.5 dapat diartikan bahwa secara statistik, nilai ECD yang kurang lebih sama ditunjukkan pada pakan kombinasi, kontrol, dan tulang ikan nila, begitu juga dengan pakan tulang ikan nila dan sisa nasi. Data nilai rata-rata ECD pada Tabel 4.5 dapat diartikan bahwa secara statistik, larva BSF pada jenis pakan kontrol, kombinasi, dan tulang ikan nila menghasilkan nilai ECD yang kurang lebih sama, begitu juga dengan pakan tulang ikan nila dan sisa nasi.

Menurut Seyedalmoosavi *et al.* (2022), nilai ECD atau lebih dikenal dengan *feed conversion ratio* (FCR) didefinisikan sebagai tingkat efisiensi larva BSF dalam menggemukkan atau menambah bobot tubuhnya melalui konversi nutrisi per unit pakan yang dikonsumsi. Hal tersebut dipengaruhi oleh jenis pakan dan nutrisi yang terkandung di dalamnya. Berdasarkan catatan data pada Gambar 4.9, diketahui bahwa nilai ECD tertinggi tercapai pada pengukuran hari ke-3 pada seluruh perlakuan uji dan menurun selama waktu pengukuran berikutnya yang disebabkan oleh kondisi pakan itu sendiri dan kualitas serta nutrisi pakan akan mengalami penurunan seiring waktu dan kebutuhan larva BSF akan nutrisi akan semakin berkurang pula seiring pertumbuhannya. Apabila dilihat pada Lampiran 35., diketahui bahwa pada pakan kontrol dan kombinasi terdapat keberadaan dekomposer lain berupa jamur yang ditandai dengan adanya warna putih pada pakan. Keberadaan jamur dapat mengambil atau menyerap nutrisi pada pakan melalui hifa sehingga ketersediaan kuantitas nutrisi bagi larva BSF pada pakan tersebut mengalami penurunan (Barzee *et al.*, 2021). Menurut Odden *et al.* (2022), kebutuhan larva BSF akan nutrisi pada pakan guna memfasilitasi pertumbuhannya lebih besar pada instar awal dan kebutuhan nutrisi akan berkurang seiring pertumbuhan larva BSF yang berdampak pada penurunan nilai ECD seiring pertumbuhan larva BSF. Adapun pada perlakuan sisa nasi tercatat nilai ECD paling rendah daripada seluruh perlakuan lainnya. Hal tersebut terjadi karena kondisi sisa nasi yang basah/berair kurang disukai larva sehingga menyulitkan larva untuk mengonversi pakan menjadi biomassa tubuhnya yang berdampak pada kecilnya nilai ECD. Berdasarkan penelitian Lalander *et al.* (2020) dan Kalová & Borkovcová (2013), pakan yang terlalu basah dapat menyebabkan penurunan asupan makan oleh larva BSF. Struktur pakan yang padat (tidak terlalu kering maupun basah) penting untuk proses aerasi

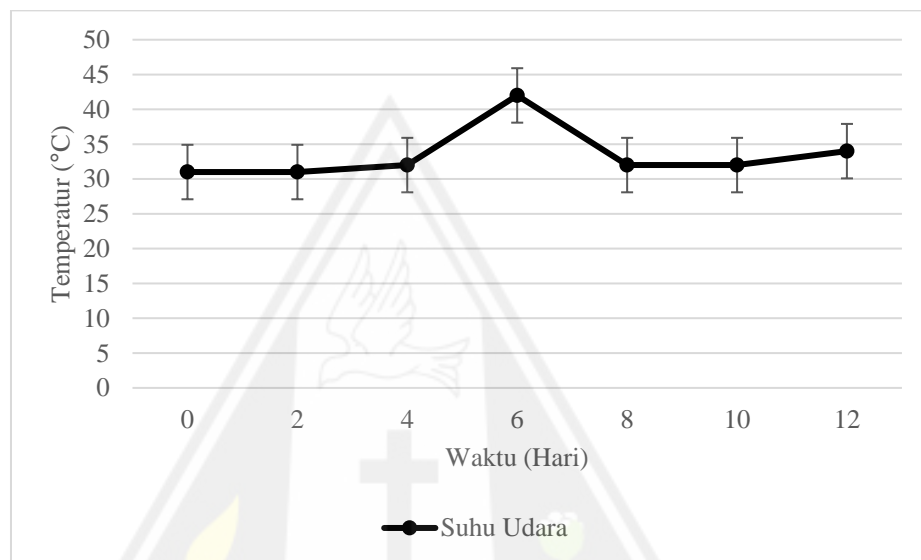
udara maupun pergerakan larva pada pakan tanpa adanya gangguan dalam proses respirasi. Ketika pakan terlalu basah, maka larva dalam pakan akan kesulitan untuk bernapas akibat tertutupnya jalur pernapasan larva (jalur pernapasan larva BSF berada pada bagian depan / anterior dan belakang / posterior tubuh). Hal tersebut menyebabkan larva berada dalam cekaman sehingga mengganggu kemampuan makan larva yang mengakibatkan pertumbuhan larva BSF menjadi lebih panjang, walaupun larva BSF masih dapat hidup atau bertahan pada pakan tersebut. Menurut Seyedalmoosavi *et al.* (2022), nilai ECD kurang tepat untuk mengevaluasi tingkat efisiensi konversi pakan oleh larva BSF apabila hendak membandingkan antara larva BSF pada pakan tinggi kadar air dengan yang tidak. Berbeda dengan perlakuan tulang ikan nila dengan pengukuran nilai ECD yang cenderung mengalami penurunan pada hari ke-6 dan 9, namun terlihat mengalami peningkatan pada pengukuran hari ke-12. Adanya penambahan kuantitas pakan pada hari ke-9 berdampak pada peningkatan tersebut sebab kuantitas nutrisi pada pakan meningkat dan mengalami pembaruan khususnya pada komponen protein, dan dikarenakan larva BSF tersebut belum memasuki fase prepupa, maka larva BSF masih aktif dalam mendekomposisi pakan dan mengonversinya menjadi biomassa tubuhnya. Menurut Oonincx *et al.* (2015), nilai ECD cenderung akan tinggi pada pakan dengan komposisi protein yang tinggi.

4.4. Kondisi Lingkungan Pemeliharaan Larva BSF

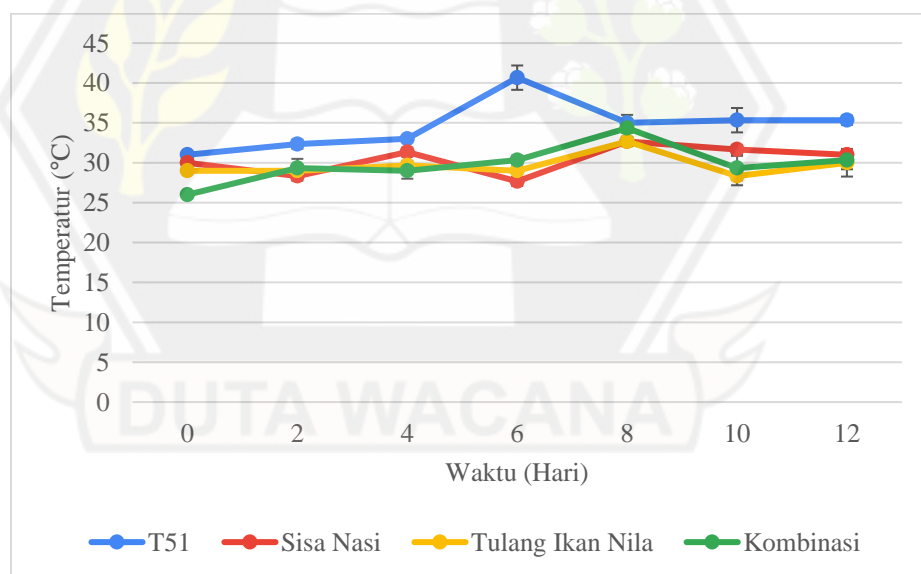
4.4.1. Temperatur

Temperatur atau suhu menggambarkan seberapa panas ataupun dingin sesuatu yang terukur pada satuan tertentu (dalam penelitian ini digunakan satuan celsius). Berkaitan dengan larva BSF, temperatur memegang kunci dalam penentuan pertumbuhan sekaligus kelangsungan hidup larva BSF, yakni temperatur yang

terlampau rendah dapat menghambat pertumbuhan, sementara terlalu tinggi dapat mematikan larva BSF (Dortmans *et al.*, 2017). Adapun terkait catatan pengukuran suhu udara maupun pakan selama penelitian tercantum pada Gambar 4.10 dan 4.11.



Gambar 4.10 Pengukuran Temperatur Udara selama 12 Hari



Gambar 4.11 Pengukuran Temperatur Ragam Pakan yang Digunakan dalam Penelitian

Berdasarkan hasil pengukuran temperatur udara maupun pakan, diketahui bahwa temperatur udara maupun pakan pada seluruh perlakuan selama penelitian terlihat stabil, hanya saja pada temperatur udara dan pakan kontrol pengukuran hari ke-6 tercatat cukup tinggi yakni masing-masing 42°C dan 41°C. Hasil analisis korelasi Spearman antara temperatur udara dengan temperatur pakan yang terlampir pada Lampiran 16. menunjukkan nilai signifikansi (*p-value*) > 0,05 yakni sebesar 0,219 sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat hubungan yang signifikan antara temperatur udara dengan temperatur pakan sebab desain kandang pemeliharaan larva BSF yang tertutup oleh dua lapis paranet (Gambar 3.1) diduga membuat pakan seperti “terisolasi” dari lingkungan luar, terlebih lagi pengukuran temperatur pakan pada seluruh perlakuan uji yang kurang konsisten waktunya, namun fluktuasi temperatur pakan disebabkan oleh faktor lain.

Berdasarkan penelitian Chia *et al.* (2018), kecepatan pertumbuhan larva BSF dipengaruhi oleh temperatur udara dengan laju pertumbuhan larva BSF tersingkat tercatat hanya 13 dan 16 hari yakni masing-masing pada temperatur sebesar 30°C dan 35°C, sedangkan pada temperatur sebesar 15°C menyebabkan laju pertumbuhan larva BSF paling lambat yaitu selama 65 hari. Temperatur optimum dalam pemeliharaan larva BSF berkisar antara 24-31°C dengan batas atas yang masih dapat ditoleransi yakni 36°C sehingga apabila mengacu pada catatan pengukuran temperatur (Lampiran 4. dan 5.), maka dapat disimpulkan bahwa temperatur udara maupun pakan masih dalam batasan temperatur optimum bagi pertumbuhan larva BSF (Shumo *et al.*, 2019; Dortmans *et al.*, 2017; Makkar *et al.*, 2014; Tomberlin *et al.*, 2009). Adapun kenaikan maupun penurunan temperatur pakan disebabkan oleh adanya aktivitas larva BSF dalam menghasilkan panas melalui metabolismenya, sementara penurunan temperatur pakan

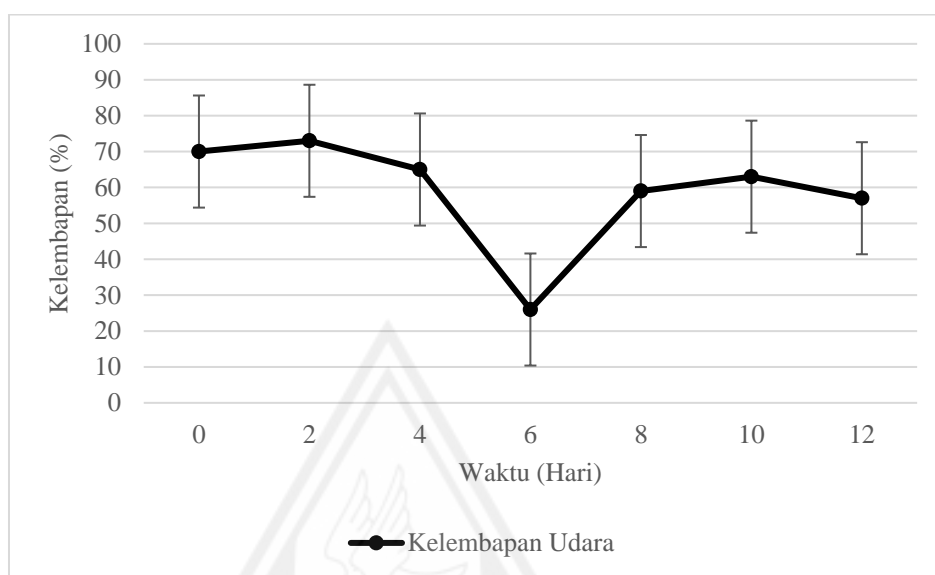
disebabkan oleh adanya penguapan air pada pakan. Menurut Barrett *et al.* (2022) dan Yang & Tomberlin (2020), penyebab kenaikan temperatur pada substrat diduga akibat proses dekomposisi secara aktif oleh larva yang memicu peningkatan proses metabolisme dalam tubuh larva yang dapat menghasilkan panas hingga 42°C, apalagi jika terjadi peningkatan kepadatan larva, disisi lain, aktivitas fermentasi secara aerobik oleh mikroorganisme dekomposer pada substrat pun diduga sebagai penyebab adanya peningkatan temperatur substrat. Sementara, menurut Thomas (2023) dan Mohanta (2022), penurunan temperatur substrat diduga disebabkan oleh adanya penguapan yang mengubah kandungan air pada pakan menjadi uap, atau singkatnya partikel air pada pakan secara kontinu akan menyerap energi panas yang ada disekitarnya, termasuk yang ada pada pakan hingga mendekati titik didih dan lambat-laun air tersebut akan menjadi uap melalui proses penguapan (fase cair menjadi gas) dan panas yang ada pada pakan akan ikut terbawa menjadi uap sehingga secara tidak langsung meninggalkan temperatur yang lebih rendah (dingin) pada pakan.

Berdasarkan hasil analisis korelasi antara temperatur udara dengan *substrate reduction* dan antara temperatur pakan dengan *substrate reduction* melalui uji Spearman (Lampiran 22.), diketahui bahwa kedua pengujian korelasi tersebut tidak mendapatkan hasil yang signifikan (Sig. > 0,05) atau dapat dikatakan tidak terdapat hubungan yang nyata antara temperatur udara dan pakan terhadap *substrate reduction*. Adapun hal ini disebabkan oleh lapisan paranet yang cukup tebal sehingga temperatur udara tidak secara langsung berdampak pada proses biokonversi larva BSF, sedangkan temperatur pakan masih berada dalam ambang batas optimum bagi proses biokonversi larva BSF sehingga proses tersebut lebih dipengaruhi oleh faktor lain seperti kondisi pakan dan palatabilitas. Sementara pada Lampiran 23., diketahui hasil analisis korelasi

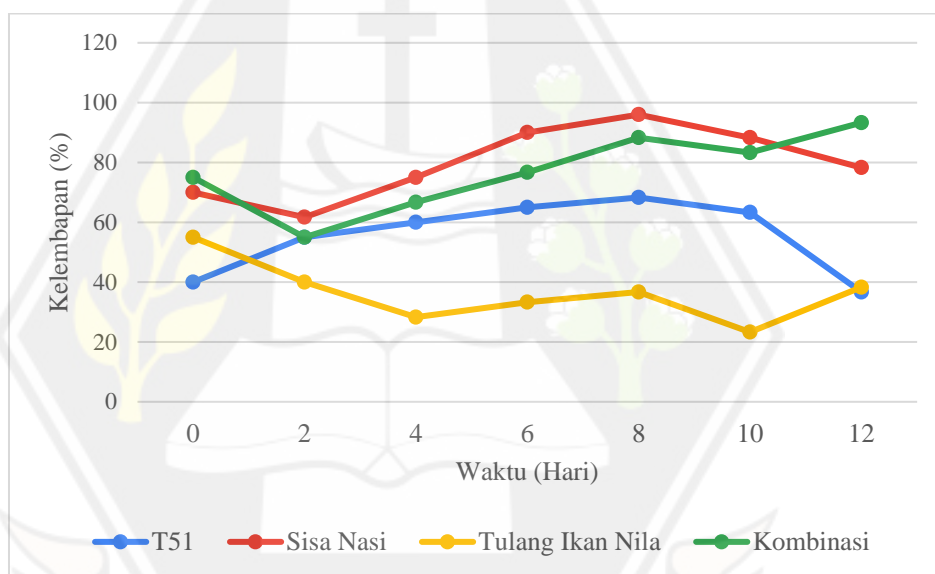
antara temperatur udara dengan *survival rate* dan antara temperatur pakan dengan *survival rate* melalui uji Spearman menyatakan bahwa kedua pengujian korelasi tersebut tidak mendapatkan hasil yang signifikan (Sig. > 0,05) atau dapat dikatakan tidak terdapat hubungan yang nyata antara temperatur udara dan pakan terhadap *survival rate*. Adapun hal ini disebabkan oleh lapisan yang cukup tebal dari paranet sehingga temperatur udara tidak secara langsung berdampak pada kelangsungan hidup larva BSF, sedangkan temperatur pakan masih berada dalam ambang batas optimum dalam menunjang kelangsungan hidup larva BSF sehingga kematian larva BSF tidak ada kaitannya dengan temperatur udara maupun pakan, tetapi lebih disebabkan oleh faktor lain seperti ketersediaan oksigen dan jumlah larva BSF/ukuran kandang pemeliharaan.

4.4.2. Kelembapan

Kelembapan menggambarkan kandungan air yang ada pada udara maupun substrat tertentu. Berkaitan dengan larva BSF, kelembapan ikut berperan dalam memfasilitasi pertumbuhan larva BSF. Ketika kelembapan terpantau rendah, maka proses dekomposisi oleh larva BSF berpotensi tersaingi oleh mikroba pengurai lainnya sehingga kuantitas nutrisi pada pakan secara tidak langsung akan menurun akibat proses dekomposisi oleh mikroba pengurai lebih tinggi daripada larva BSF dan berujung pada perpanjangan waktu pertumbuhan larva BSF, sementara ketika kelembapan terpantau tinggi, maka terdapat kemungkinan adanya peningkatan jumlah patogen atau parasit pada pakan sehingga kelembapan optimum bagi pertumbuhan larva BSF dikatakan sebesar 70% (Barrett *et al.*, 2022; Cammack & Tomberlin, 2017). Adapun terkait catatan pengukuran kelembapan udara maupun pakan selama penelitian tercantum pada Gambar 4.12 dan 4.13.



Gambar 4.12 Pengukuran Kelembapan Udara selama 12 Hari



Gambar 4.13 Pengukuran Kelembapan Ragam Pakan yang Digunakan dalam Penelitian

Berdasarkan hasil pengukuran kelembapan udara maupun pakan, diketahui bahwa fluktuasi kelembapan udara selama penelitian cenderung stabil, sementara pada kelembapan pakan terlihat fluktuasi yang cukup bervariasi. Besaran kelembapan pakan dipengaruhi oleh keberadaan kadar air pada pakan sehingga

kelembapan pakan tertinggi terdapat pada perlakuan sisa nasi yang diikuti oleh kombinasi, tulang ikan nila, dan kontrol. Hasil analisis korelasi Spearman antara temperatur udara dengan kelembapan pakan yang terlampir pada Lampiran 17. menunjukkan nilai signifikansi ($p\text{-value}$) $> 0,05$ yakni sebesar 0,730 sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat hubungan yang signifikan antara temperatur udara dengan kelembapan pakan sebab desain kandang pemeliharaan larva BSF yang tertutup oleh dua lapis paranet (Gambar 3.1) diduga membuat pakan seperti “terisolasi” dari lingkungan luar, terlebih lagi pengukuran kelembapan pakan pada seluruh perlakuan uji yang kurang konsisten, namun fluktuasi kelembapan pakan disebabkan oleh faktor lain.

Secara garis besar, larva BSF mampu hidup dan bertumbuh pada substrat dengan berbagai variasi besaran kadar air, namun umumnya pertumbuhan maksimum dan kelangsungan hidup larva BSF dapat meningkat pada kisaran kadar air substrat sebesar 60-80% (Barrett *et al.*, 2022). Berdasarkan penelitian Holmes *et al.* (2012), pertumbuhan larva BSF tersingkat beserta dengan minimnya jumlah kematian larva BSF didapat pada kelembapan sebesar 70%, yakni masing-masing sebesar 9 hari dan 3%, namun ketika kelembapan menurun maka kecepatan pertumbuhan larva BSF akan melambat dan tingkat kematian larva BSF akan meningkat, seperti pada kelembapan 40% dan 25% masing-masing dengan kecepatan pertumbuhan 9 dan 10 hari serta tingkat kematian larva BSF masing-masing sebesar 26 dan 62%. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Cammack & Tomberlin (2017), menyatakan bahwa kelembapan sebesar 40% menyebabkan kematian larva BSF sebanyak 100%, sedangkan kelembapan sebesar 70% mampu mempercepat pertumbuhan larva BSF dengan ukuran yang lebih besar daripada kelembapan 55%. Apabila dibandingkan dengan hasil penelitian, diketahui larva BSF pada perlakuan kontrol dan kombinasi dengan

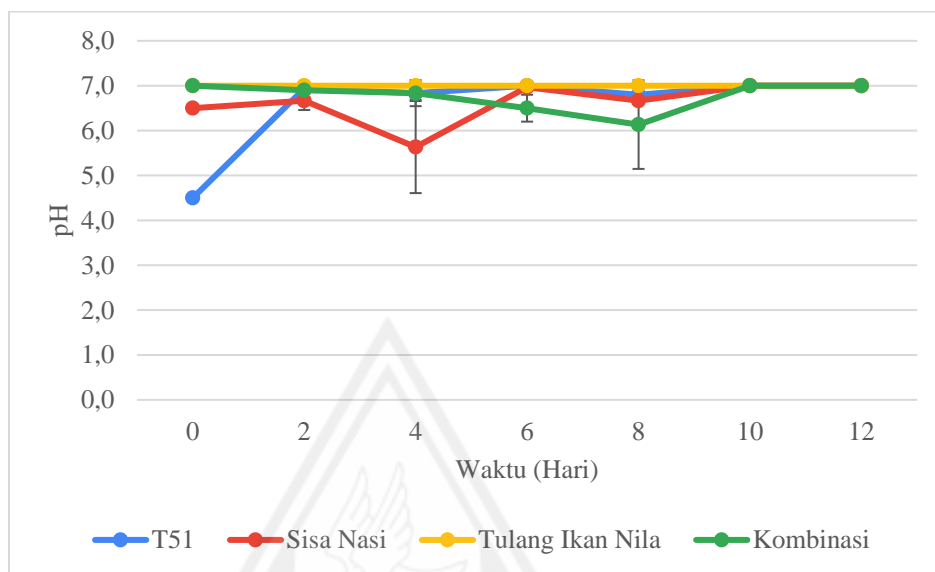
kelembapan yang masih berada pada ambang optimum menghasilkan laju pertumbuhan larva BSF dengan ukuran dan biomassa yang lebih besar daripada perlakuan sisa nasi dengan tingkat kelembapan yang terlampaui tinggi maupun perlakuan tulang ikan nila dengan tingkat kelembapan yang terlampaui rendah. Adapun kenaikan maupun penurunan kelembapan pakan disebabkan oleh adanya aktivitas dekomposisi oleh mikroba pengurai, sementara penurunan kelembapan pakan disebabkan oleh adanya penguapan air pada pakan. Kelembapan pakan sekaligus kenaikannya tertinggi tercatat pada perlakuan sisa nasi dan kombinasi sebab nasi mengalami pembusukan atau basi sehingga menyebabkannya menjadi sedikit basah/berair. Menurut Navaneethan & Effarizah (2023), Arifan *et al.* (2020), dan Waduwwara & Manage (2009), secara alami nasi akan mengalami pembusukan atau menjadi basi sehingga nantinya menyebabkan nasi menjadi lembek akibat adanya aktivitas enzim amilase, protease, dan lipase oleh *Bacillus cereus* dan/atau aktivitas jamur seperti *Aspergillus* sp. dan *Saccharomyces cerevisiae*. Sementara, penurunan kelembapan pakan terjadi akibat adanya kehilangan partikel air pada pakan atau penurunan kadar air pada pakan melalui proses penguapan sehingga mengakibatkan pakan menjadi lebih kering. Menurut Mohanta (2022), penguapan terjadi ketika partikel cair menyerap energi panas dari sekitarnya hingga pada titik tertentu menyebabkan perubahan wujud dari cair menjadi gas. Berdasarkan catatan kelembapan pada setiap perlakuan (Lampiran 6.), diketahui peningkatan kelembapan tidak hanya terjadi pada perlakuan sisa nasi dan kombinasi, namun juga pada perlakuan kontrol dan tulang ikan nila yang disebabkan oleh adanya penyemprotan air setiap dilakukan pengukuran guna mencegah terjadinya penurunan tingkat kelembapan secara drastis, namun akibat fenomena penguapan pada kedua perlakuan tersebut terbilang rendah, maka dimungkinkan

terjadi peningkatan kelembapan sebab volume air pada pakan yang menguap tidak sebanding dengan volume air yang diberikan, sebab kelembapan berbanding terbalik dengan laju penguapan (Thomas, 2023).

Berdasarkan hasil analisis korelasi antara kelembapan pakan dengan *substrate reduction* melalui uji Spearman (Lampiran 22.), diketahui bahwa pengujian korelasi tersebut tidak mendapatkan hasil yang signifikan (Sig. > 0,05) atau dapat dikatakan tidak terdapat hubungan yang nyata antara kelembapan pakan terhadap *substrate reduction*. Adapun hal ini disebabkan karena kelembapan pakan masih berada dalam ambang batas optimum bagi proses biokonversi larva BSF sehingga faktor lain seperti kondisi pakan dan palatabilitas lebih berpengaruh terhadap proses dekomposisi. Sementara pada Lampiran 23., diketahui hasil analisis korelasi antara kelembapan pakan dengan *survival rate* melalui uji Spearman menyatakan bahwa pengujian korelasi tersebut tidak mendapatkan hasil yang signifikan (Sig. > 0,05) atau dapat dikatakan tidak terdapat hubungan yang nyata antara kelembapan pakan terhadap *survival rate*. Adapun hal ini disebabkan karena kelembapan pakan masih berada dalam ambang batas optimum dalam menunjang kelangsungan hidup larva BSF sehingga kematian larva BSF tidak ada kaitannya dengan kelembapan pakan, tetapi ketersediaan oksigen dan jumlah larva BSF/ukuran kandang pemeliharaan.

4.4.3. Nilai pH

Nilai pH menggambarkan seberapa asam ataupun basa suatu substrat. Secara umum, larva BSF mampu hidup pada berbagai variasi nilai pH, mulai dari pH asam sebesar 2 hingga 11 (basa), tetapi substrat yang cenderung asam dengan kisaran nilai pH 2-4 kurang tepat untuk dijadikan media pertumbuhan larva BSF (Barrett *et al.*, 2022). Adapun terkait catatan pengukuran nilai pH pakan selama penelitian tercantum pada Gambar 4.14.



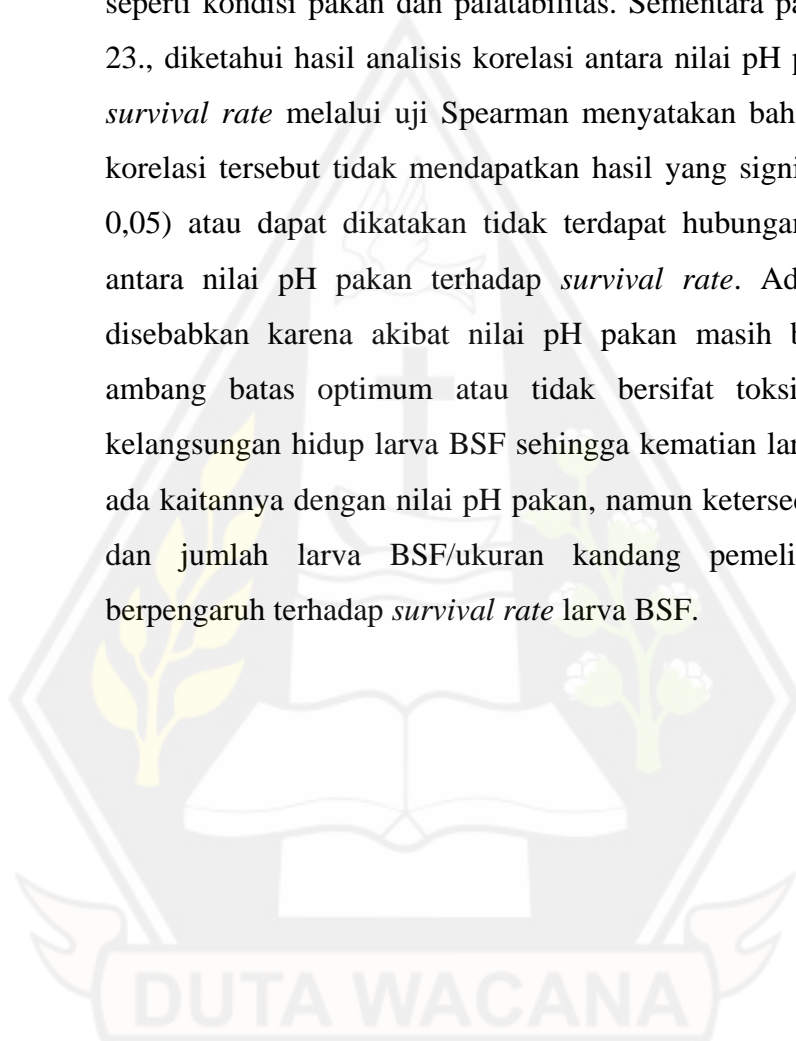
Gambar 4.14 Pengukuran Nilai pH Ragam Pakan yang Digunakan dalam Penelitian

Berdasarkan hasil pengukuran nilai pH pakan pada Gambar 4.14, diketahui bahwa nilai pH pada seluruh perlakuan uji cenderung mengalami kenaikan hingga pada pH 7 pada hari terakhir pengukuran. Menurut penelitian Meneguz *et al.* (2018), perbedaan nilai pH (4,0; 6,1; 7,5; 9,5) tidak menyebabkan perbedaan persentase pengurangan substrat oleh larva BSF (*substrate reduction*) dan *survival rate* larva BSF dengan besaran masing-masing $\pm 60\%$ dan $< 10\%$, namun berpengaruh secara signifikan terhadap biomassa larva BSF hanya pada hari pertama, ketiga, dan kelima, tetapi tidak pada biomassa larva BSF hari terakhir. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Ma *et al.* (2018), menyatakan bahwa pada akhir penelitian dengan perbedaan nilai pH (2,0; 4,0; 6,0; 7,0; 8,0; 10,0), didapatkan perbedaan signifikan biomassa larva BSF hanya pada perlakuan substrat asam, tetapi tidak pada perlakuan substrat netral ataupun basa, disisi lain, terkait waktu pertumbuhan larva BSF didapatkan pada perlakuan pH 8,0 adalah yang tersingkat selama 21 hari dan yang terlama pada perlakuan pH 2,0 selama 28 hari,

sedangkan pada perlakuan pH lainnya tidak terdapat perbedaan secara signifikan, sementara untuk persentase kehidupan larva BSF tertinggi didapatkan pada perlakuan pH 6,0 hingga 8,0 yakni 98-99% dan terendah pada perlakuan pH 4,0 yaitu 88%. Apabila mengacu pada bahasan kedua penelitian diatas, maka dapat disimpulkan bahwa *range* atau kisaran nilai pH pada seluruh perlakuan uji selama penelitian masih berada pada ambang batas optimum bagi pertumbuhan dan kelangsungan hidup larva BSF. Berdasarkan catatan nilai pH pada setiap perlakuan (Lampiran 7.), diketahui bahwa adanya peningkatan dan penurunan nilai pH akibat adanya ekskresi amonia pada pakan oleh larva BSF melalui aktivitas metabolisme dalam tubuh, sementara penurunan nilai pH (pada perlakuan sisa nasi dan kombinasi) akibat adanya aktivitas fermentasi oleh mikroba pengurai pada pakan sehingga mengakibatkan kondisi asam. Menurut Abbaszadeh *et al.* (2022) dan Meneguz *et al.* (2018), amonia diekskresikan ke dalam substrat melalui aktivitas metabolisme larva BSF, akibatnya nilai pH pada substrat mengalami peningkatan, sebab kuantitas amonia yang tinggi pada substrat dapat memicu peningkatan nilai pH, begitu pula sebaliknya. Sementara, menurut Doi *et al.* (2013) dan Oupathumpanont *et al.* (2009), nasi yang mengalami proses fermentasi oleh bakteri asam laktat, seperti pada kelompok bakteri genus *Lactobacillus*, nantinya dapat menjadikan nasi menjadi lebih lunak dan asam akibat proses pengasaman yang menghidrolisis pati pada nasi menjadi asam laktat sehingga nantinya akan terjadi penumpukan asam laktat akibat produksi secara kontinyu oleh bakteri asam laktat hingga berdampak pada terciptanya kondisi asam pada nasi sekaligus penurunan nilai pH.

Berdasarkan hasil analisis korelasi antara nilai pH pakan dengan *substrate reduction* melalui uji Spearman (Lampiran 22.), diketahui bahwa pengujian korelasi tersebut tidak mendapatkan hasil yang

signifikan (Sig. > 0,05) atau dapat dikatakan tidak terdapat hubungan yang nyata antara nilai pH pakan terhadap *substrate reduction*. Adapun hal ini disebabkan karena nilai pH pakan masih berada dalam ambang batas optimum bagi proses biokonversi larva BSF sehingga proses dekomposisi lebih dipengaruhi oleh faktor lain seperti kondisi pakan dan palatabilitas. Sementara pada Lampiran 23., diketahui hasil analisis korelasi antara nilai pH pakan dengan *survival rate* melalui uji Spearman menyatakan bahwa pengujian korelasi tersebut tidak mendapatkan hasil yang signifikan (Sig. > 0,05) atau dapat dikatakan tidak terdapat hubungan yang nyata antara nilai pH pakan terhadap *survival rate*. Adapun hal ini disebabkan karena akibat nilai pH pakan masih berada dalam ambang batas optimum atau tidak bersifat toksik/racun bagi kelangsungan hidup larva BSF sehingga kematian larva BSF tidak ada kaitannya dengan nilai pH pakan, namun ketersediaan oksigen dan jumlah larva BSF/ukuran kandang pemeliharaan yang berpengaruh terhadap *survival rate* larva BSF.



BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa:

- 5.1.1. Jenis pakan berdampak terhadap nutrien larva BSF.
- 5.1.2. Perlakuan kombinasi merupakan pakan terbaik bagi larva BSF dari segi nutriennya, sedangkan perlakuan sisa nasi menghasilkan larva BSF dengan persentase nutrien terbaik.
- 5.1.3. Jenis pakan berdampak terhadap pertumbuhan larva BSF dengan jenis pakan kombinasi merupakan yang terbaik.
- 5.1.4. Tidak terdapat pengaruh antara seluruh parameter lingkungan terhadap pertumbuhan larva BSF.

5.2. Saran

Adapun beberapa hal yang dapat diperbaiki dalam penelitian serupa, diantaranya:

- 5.2.1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menganalisis proksimat pakan lengkap dengan kandungan energi dan untuk kandungan nutrien larva BSF secara lengkap dengan menyertakan analisis serat, vitamin, asam amino, dan mineral agar didapatkan dugaan terkait perkembangan larva BSF yang lebih jelas/terperinci.
- 5.2.2. Larva BSF yang digunakan dalam analisis proksimat disarankan berada pada fase yang sama agar data hasil analisis proksimat yang didapatkan lebih dapat dibandingkan.
- 5.2.3. Disarankan untuk tidak memberikan jenis pakan/substrat tunggal, namun substrat yang mengandung berbagai nutrien guna mendukung perkembangan larva BSF yang lebih optimal.
- 5.2.4. Pemberian pakan/substrat yang terlalu berminyak ataupun dengan tinggi kandungan air tidak disarankan.

- 5.2.5. Pengukuran kondisi lingkungan (faktor abiotik) diharuskan seragam/sama supaya didapatkan data pengukuran yang lebih dapat dibandingkan.
- 5.2.6. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mempertimbangkan terkait ukuran tempat pemeliharaan larva BSF beserta dengan jumlah larva dalam tempat tersebut.



DAFTAR PUSTAKA

- Abbaszadeh, L., Koutra, E., Tsigkou, K., Gaspari, M., Kougias, P., & Kornaros, M. (2022). Nitrification upon Nitrogen Starvation and Recovery: Effect of Stress Period, Substrate Concentration and pH on Ammonia Oxidizers' Performance. *Fermentation*, 8(8), 387.
- Ahmad, I., Peng, N., Amrul, N., Basri, N., Jalil, N., & Azman, N. (2023). Potential Application of Black Soldier Fly Larva Bins in Treating Food Waste. *Insects*, 14(5), 1-15.
- Aldi, M., Fathul, F., Tantalo, S., & Erwanto. (2018). Pengaruh Berbagai Media Tumbuh terhadap Kandungan Air, Protein dan Lemak Maggot yang Dihasilkan sebagai Pakan. *Jurnal Riset dan Inovasi Peternakan*, 2(2), 14-20.
- Amrul, N. F., Ahmad, I. K., Basri, N. E., Suja, F., Jalil, N. A., & Azman, N. A. (2022). A Review of Organic Waste Treatment Using Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). *Sustainability*, 14(8), 4565.
- Arifan, F., Setyati, W., Broto, R., & Dewi, A. (2020). Pemanfaatan Nasi Basi Sebagai Mikro Organisme Lokal (MOL) Untuk Pembuatan Pupuk Cair Organik di Desa Mendongan Kecamatan Sumowono Kabupaten Semarang. *Jurnal Pengabdian Vokasi*, 1(4), 252-255.
- Asmoro, P. P., Dadang, Pudjianto, & Winasa, I. W. (2021). Nutritional indices and feeding preference of the *Plutella xylostella* L. (Lepidoptera: Yponomeutidae) in several Brassicaceae plants. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 948 (pp. 1-8). Bristol: IOP Publishing.
- Ayilara, M. S., Olanrewaju, O. S., Babalola, O. O., & Odeyemi, O. (2020). Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. *Sustainability*, 12(11), 4456.
- Bangani, L., Kabiti, H., Amoo, O., Nakin, M., & Magayiyana, Z. (2023). Impacts of illegal solid waste dumping on the water quality of the Mthatha River. *Water Practice & Technology*, 1-11.
- Barragan-Fonseca, K. (2018). *Flies are what they eat: Tailoring nutrition of Black Soldier Fly (Hermetia illucens L.) for larval biomass production and fitness*. Wageningen: Wageningen University.
- Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105-120.

- Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. (2018). Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *166*(9), 761–770.
- Barrett, M., Chia, S. Y., Fischer, B., & Tomberlin, J. K. (2022). Welfare considerations for farming black soldier flies, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): a model for the insects as food and feed industry. *Journal of Insects as Food and Feed*, *9*(2), 119-148.
- Barzee, T., Cao, L., Pan, Z., & Zhang, R. (2021). Fungi for future foods. *Journal of Future Foods*, *1*(1), 25-37.
- Beesigamukama, D., Subramanian, S., & Tanga, C. (2022). Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible insects. *Scientific Reports*, *12*(7182), 1-13.
- Benoit, J., & Denlinger, D. (2010). Meeting the challenges of on-host and off-host water balance in blood-feeding arthropods. *J Insect Physiol.*, *56*(10), 1366–1376.
- Berampu, L. E., Patriono, E., & Amalia, R. (2021). Pemberian kombinasi maggot dan pakan komersial untuk efektifitas pemberian pakan tambahan benih ikan Lele Sangkuriang (*Clarias gariepinus*) oleh kelompok pembudidaya ikan Lele. *Sriwijaya Bioscientia*, *2*(2), 1-15.
- Bessa, L. W., Pieterse, E., Sigge, G., & Hoffman, L. C. (2019). An Exploratory Study into the Use of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae in the Production of a Vienna-Style Sausage. *Meat and Muscle Biology*, *3*(1), 289–298.
- Boakye-Yiadom, K. A., Ilari, A., & Duca, D. (2022). Greenhouse Gas Emissions and Life Cycle Assessment on the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.). *Sustainability*, *14*(16), 10456.
- Broeckx, L., Frooninckx, L., Slegers, L., Berrens, S., Noyens, I., Goossens, S., . . . Van Miert, S. (2021). Growth of Black Soldier Fly Larvae Reared on Organic Side-Streams. *Sustainability*, *13*(23), 1-20.
- Cammack, J. A., & Tomberlin, J. K. (2017). The Impact of Diet Protein and Carbohydrate on Select Life-History Traits of The Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Insects*, *8*(2), 56.

- Chaudhari, P. R., Tamrakar, N., Singh, L., Tandon, A., & Sharma, D. (2018). Rice nutritional and medicinal properties: A review article. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 150-156.
- Chia, S. Y., Tanga, C. M., Khamis, F. M., Mohamed, S. A., Salifu, D., Sevgan, S., . . . Ekesi, S. (2018). Threshold temperatures and thermal requirements of black soldier fly *Hermetia illucens*: Implications for mass production. *PLoS ONE*, 13(11), e0206097.
- Cho, S., Kim, C.-H., Kim, M.-J., & Chung, H. (2020). Effects of microplastics and salinity on food waste processing by black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of Ecology and Environment*, 44(7), 1-9.
- Cullere, M., Schiavone, A., Dabbou, S., Gasco, L., & Zotte, A. D. (2019). Meat Quality and Sensory Traits of Finisher Broiler Chickens Fed with Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens* L.) Larvae Fat as Alternative Fat Source. *Animals*, 9(4), 140.
- Cullere, M., Tasoniero, G., Giaccone, V., Acuti, G., Marangon, A., & Zotte, A. D. (2018). Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: meat proximate composition, fatty acid and amino acid profile, oxidative status and sensory traits. *Animal*, 12(3), 640-647.
- da Silva, G. D., & Hesselberg, T. (2019). A Review of the Use of Black Soldier Fly Larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), to Compost Organic Waste in Tropical Regions. *Neotropical Entomology*, 49(3), 151-162.
- De Smet, J., Wynants, E., Cos, P., & Van Campenhout, L. (2018). Microbial Community Dynamics during Rearing of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) and Impact on Exploitation Potential. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(9), e02722-17.
- DeAngelis, Z. (2023, Februari 22). *Pest Pointers*. Retrieved from pestpointers.com: <https://pestpointers.com/scents-that-lizards-hate-and-how-to-use-them/>
- Diener, S., Solano, N. M., Gutiérrez, F. R., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2011). Biological Treatment of Municipal Organic Waste using Black Soldier Fly Larvae. *Waste and Biomass Valorization*, 2, 357–363.
- Diener, S., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2015). Bioaccumulation of heavy metals in the black soldier fly, *Hermetia illucens* and effects on its life cycle. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(4), 261-270.
- Diener, S., Zurbrügg, C., Gutiérrez, F. R., Nguyen, D. H., Morel, A., Koottatep, T., & Tockner, K. (2011). Black Soldier Fly Larvae for Organic Waste

- Treatment - Prospects and Constraints. *Proceedings of the WasteSafe 2011 – 2nd International Conference on Solid Waste Management in the Developing Countries*, (pp. 1-8). Khulna.
- Diyantoro, Sundari, A. S., Jariah, R. O., Indriati, D. W., & Indriani, D. W. (2022). A Potential Insect Antimicrobial of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) against Pathogenic Bacteria. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, *15*(10), 4425-4433.
- Doi, K., Phuong, O., Kawatou, F., Nagayoshi, Y., Fujino, Y., & Ohshima, T. (2013). Identification and Characterization of Lactic Acid Bacteria Isolated from Fermented Rice Bran Product. *Advances in Microbiology*, *3*(3), 265-272.
- Dortmans, B., Diener, S., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2017). *Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide*. Dübendorf: Eawag - Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology.
- Eggink, K. M., Lund, I., Pedersen, P. B., Hansen, B. W., & Dalsgaard, J. (2022). Biowaste and by-products as rearing substrates for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae: Effects on larval body composition and performance. *PLoS ONE*, *17*(9), e0275213.
- Fadlan, A., Syafitri, E., & Manullang, H. M. (2022). Substitusi Tepung Maggot sebagai Pakan Alternatif terhadap Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Benih Ikan Lele Sangkuriang (*Clarias sp.*). *Jurnal Aquaculture Indonesia*, *1*(2), 100-109.
- Fluker's Cricket Farm. (2020, November 22). *Fluker Farms*. Retrieved from flukerfarms.com: <https://flukerfarms.com/reptile-u/blog/caring-for-live-soldier-worms-black-soldier-fly-larvae/#:~:text=Soldier%20Worms%20are%20a%20naturally,any%20pet%20reptile%20or%20amphibian>.
- Fox Pest Control. (2022, September 26). *Fox Pest Control*. Retrieved from fox-pest.com: <https://fox-pest.com/blog/7-smells-that-are-rodent-repellent/#:~:text=around%20your%20home.-,Vinegar,as%20an%20effective%20rodent%20repellent>
- Fuso, A., Barbi, S., Macavei, L., Luparelli, A., Maistrello, L., Montorsi, M., . . . Caligiani, A. (2021). Effect of the Rearing Substrate on Total Protein and Amino Acid Composition in Black Soldier Fly. *Foods*, *10*(8), 1773.
- Giannetti, D., Schifani, E., Reggiani, R., Mazzoni, E., Reguzzi, M. C., Castracani, C., . . . Grasso, D. A. (2022). Do It by Yourself: Larval Locomotion in the

- Black Soldier Fly *Hermetia illucens*, with a Novel “Self-Harvesting” Method to Separate Prepupae. *Insects*, 13(2), 127.
- Gobbi, P., Martinez-Sanchez, A., & Rojo, S. (2013). The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *European Journal of Entomology*, 110(3), 461–468.
- Gold, M., Cassar, C., Zurbrügg, C., Kreuzer, M., Boulos, S., Diener, S., & Mathys, A. (2020). Biowaste treatment with black soldier fly larvae: Increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates. *Waste Management*, 102, 319-329.
- Gold, M., Tomberlin, J. K., Diener, S., Zurbrügg, C., & Mathys, A. (2018). Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. *Waste Management*, 82, 302-318.
- Green, T. (2023). *A biochemical analysis of Black Soldier fly (Hermetia illucens) larval frass plant growth promoting activity*. Lake Oswego: DipTerra LLC.
- Hakim, A. R., Prasetya, A., & Petrus, H. T. (2017). Studi Laju Umpan pada Proses Biokonversi Limbah Pengolahan Tuna Menggunakan Larva *Hermetia illucens*. *JPB Kelautan dan Perikanan*, 12(2), 179-192.
- Hartati, Chamila, A., Syamsiah, Jumadi, O., Kurnia, N., Junda, M., . . . Harianto, F. (2022). Pengaruh Formulasi Pakan Terhadap Kandungan Nutrisi Larva Black Solder Fly (BSF) *Hermetia illucens*. *Jurnal Sainsmat*, XI(2), 144-153.
- Hemung, B.-O. (2013). Properties of Tilapia Bone Powder and Its Calcium Bioavailability Based on Transglutaminase Assay. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*, 3(4), 306-309.
- Holeh, G., Opiyo, M., Brown, C., Sumbule, E., Gatagwu, J., Oje, E., & Munyi, F. (2022). Effect of different waste substrates on the growth, development and proximate composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Livestock Research for Rural Development*, 34(7), 1-11.
- Holmes, L. A., Vanlaerhoven, S. L., & Tomberlin, J. K. (2012). Relative Humidity Effects on the Life History of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental Entomology*, 41(4), 971–978.
- Ilan, J. (1964). *Metabolism of Protein and Nucleic Acids During the Metamorphosis of Tenebrio Molitor L.* Montreal: McGill University.

- Islamiyah, U., Gonggo, S., & Pursitasari, I. (2013). Profil Kinetika Perubahan Kadar Glukosa pada Nasi Dalam Pemanas. *Jurnal Akademika Kimia*, 2(3), 160-165.
- Jucker, C., Erba, D., Leonardi, M., Lupi, D., & Savoldelli, S. (2017). Assessment of Vegetable and Fruit Substrates as Potential Rearing Media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Environmental Entomology*, 46(6), 1415-1423.
- Jucker, C., Lupi, D., Moore, C., Leonardi, M., & Savoldelli, S. (2020). Nutrient Recapture from Insect Farm Waste: Bioconversion with *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae). *Sustainability*, 12(1), 362.
- Julita, U., Fitri, L., Putra, R., & Permana, A. (2020). Mating Success and Reproductive Behavior of Black Soldier Fly *Hermetia illucens* L. (Diptera, Stratiomyidae) in Tropics. *Journal of Entomology*, 17(3), 117-127.
- Kalová, M., & Borkovcová, M. (2013). Voracious Larvae *Hermetia illucens* and Treatment of Selected Types of Biodegradable Waste. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 61, 77-83.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2023). *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)*. Retrieved from sipsn.menlhk.go.id: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- Khairuddin, D., Ghafar, S., & Hassan, S. (2022). Food waste type and moisture content influence on the *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae) Larval Development and Survival. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1022 (pp. 1-8). Bristol: IOP Publishing.
- Khan, R., Callaway, K., Upreti, A., Mallik, A., Daboul, R., Garcia, M., . . . Lightfoot, V. (2019). Effects of Peppermint Oil and Vinegar on Killing and Preventing the Red Imported Fire Ant, *Solenopsis invicta* (Hymenoptera: Formicidae) in Households. *Instars: A Journal of Student Research*, 5, 1-7.
- Kim, C.-H., Ryu, J., Lee, J., Ko, K., Lee, J.-y., Park, K. Y., & Chung, H. (2021). Use of Black Soldier Fly Larvae for Food Waste Treatment and Energy Production in Asian Countries: A Review. *Processes*, 9(1), 161.
- Kim, W., Bae, S., Park, H., Park, K., Lee, S., Choi, Y., . . . Koh, Y.-h. (2010). The Larval Age and Mouth Morphology of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *International Journal of Industrial Entomology*, 21(2), 185-187.

- Kim, W., Bae, S., Park, K., Lee, S., Choi, Y., Han, S., & Koh, Y. (2011). Biochemical characterization of digestive enzymes in the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *14*(1), 11-14.
- Kinasih, I., Putra, R. E., Permana, A. D., Gusmara, F. F., Nurhadi, M. Y., & Anitasari, R. A. (2018). Growth Performance of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) Fed on Some Plant Based Organic Wastes. *Hayati: Journal of Biosciences*, *25*(2), 79-84.
- Kobelski, A., Hempel, A.-J., Padmanabha, M., Wille, L.-C., & Streif, S. (2022). Process Optimization of Black Soldier Fly Egg Production via Model Based Control. *arXiv*, 2212.05776.
- Kooienga, E. M., Baugher, C., Currin, M., Tomberlin, J. K., & Jordan, H. R. (2020). Effects of Bacterial Supplementation on Black Soldier Fly Growth and Development at Benchtop and Industrial Scale. *Frontiers in Microbiology*, *11*, 587979.
- Kresnawaty, I., Wahyu, R., & Sasongko, A. (2019). Aktivitas amilase bakteri amilolitik asal larva black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Menara Perkebunan*, *87*(2), 140-146.
- Kumar, S., Negi, S., Mandpe, A., Singh, R. V., & Hussain, A. (2018). Rapid composting techniques in Indian context and utilization of black soldier fly for enhanced decomposition of biodegradable wastes - A comprehensive review. *Journal of Environmental Management*, *227*, 189-199.
- Kwon, J., & Kim, J. (2016). Treatment Efficiency of Food Waste by the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Depending on Salinity and Moisture Contents. *Journal of Korea Society of Waste Management*, *33*(6), 590-597.
- Lalander, C., Ermolaev, E., Wiklicky, V., & Vinnerås, B. (2020). Process efficiency and ventilation requirement in black soldier fly larvae composting of substrates with high water content. *Science of The Total Environment*, *729*, 138968.
- Le Gall, M., & Behmer, S. (2014). Effects of Protein and Carbohydrate on an Insect Herbivore: The Vista from a Fitness Landscape. *Integrative and Comparative Biology*, *54*(5), 942-954.
- Li, X., Zhou, S., Zhang, J., Zhou, Z., & Xiong, Q. (2021). Directional Changes in the Intestinal Bacterial Community in Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae. *Animals*, *11*(12), 3475.

- Liu, C., Wang, C., & Yao, H. (2019). Comprehensive Resource Utilization of Waste Using the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae). *Animals*, *9*(6), 349.
- Liu, X., Chen, X., Wang, H., Yang, Q., ur Rehman, K., Li, W., . . . Zheng, L. (2017). Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLoS ONE*, *12*(8), e0182601.
- Lopes, I. G., Yong, J. W., & Lalander, C. (2022). Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes. A critical review and future perspectives. *Waste Management*, *142*, 65-76.
- Ma, J., Lei, Y., ur Rehman, K., Yu, Z., Zhang, J., Li, W., . . . Zheng, L. (2018). Dynamic Effects of Initial pH of Substrate on Biological Growth and Metamorphosis of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental Entomology*, *47*(1), 159-165.
- Makkar, H., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, *197*(38), 1-33.
- Maurer, V., Holinger, M., Amsler, Z., Früh, B., Wohlfahrt, J., Stamer, A., & Leiber, F. (2016). Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in diets for layers. *Journal of Insects as Food and Feed*, *2*(2), 83-90.
- Meneguz, M., Gasco, L., & Tomberlin, J. K. (2018). Impact of pH and feeding system on black soldier fly (*Hermetia illucens*, L; Diptera: Stratiomyidae) larval development. *PLoS ONE*, *13*(8), e0202591.
- Mohanta, S. (2023, Mei 31). *GeeksforGeeks*. Retrieved from [www.geeksforgeeks.org: https://www.geeksforgeeks.org/evaporation-causes-cooling/](https://www.geeksforgeeks.org/evaporation-causes-cooling/)
- Monteiro dos Santos, D., Rodrigues de Freitas, O., Oishi, C., Leão da Fonseca, F., Parisi, G., & Gonçalves, L. (2023). Full-Fat Black Soldier Fly Larvae Meal in Diet for Tambaqui, *Colossoma macropomum*: Digestibility, Growth Performance and Economic Analysis of Feeds. *Animals*, *13*(3), 360.
- Mulyani, Y. S., Yulisman, & Fitrani, M. (2014). Pertumbuhan dan Efisiensi Pakan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang Dipuaskan secara Periodik. *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia*, *2*(1), 1-12.
- Navaneethan, Y., & Effarizah, M. (2023). Post-Cooking Growth and Survival of *Bacillus cereus* Spores in Rice and Their Enzymatic Activities Leading to Food Spoilage Potential. *Foods*, *12*(3), 626.

- Nguyen, T. (2010). *Influence of Diet on Black Soldier Fly (Hermetia illucens Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) Life History Traits*. Windsor: University of Windsor.
- Nguyen, T., Tomberlin, J., & Vanlaerhoven, S. (2013). Influence of Resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larval Development. *Journal of Medical Entomology*, 50(4), 898–906.
- Nofiyanti, E., Laksono, B. T., Salman, N., Wardani, G. A., & Mellyanawaty, M. (2022). Efektivitas Larva Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) dalam Mereduksi Sampah Organik Pasar. *Serambi Engineering*, VII(1), 2571-2576.
- Nugraha, A., Sutjahjo, S. H., & Amin, A. A. (2018). Persepsi dan Partisipasi Masyarakat terhadap Pengelolaan Sampah Rumah Tangga melalui Bank Sampah di Jakarta Selatan. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 8(1), 7-14.
- Oddon, S., Biasato, I., Resconi, A., & Gasco, L. (2022). Determination of lipid requirements in black soldier fly through semi-purified diets. *Scientific Reports*, 12, 10922.
- Oliveira, F., Doelle, K., List, R., & O'Reilly, J. (2015). Assessment of Diptera: Stratiomyidae, genus *Hermetia illucens* (L., 1758) using electron microscopy. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 3(5), 147-152.
- Oonincx, D., van Broekhoven, S., van Huis, A., & van Loon, J. (2015). Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products. *PLoS ONE* 10(12), e0144601.
- Oupathumpanont, O., Chantarapanont, W., Suwonsichon, T., Haruthaithanasan, V., & Chompreeda, P. (2009). Screening Lactic Acid Bacteria for Improving the Kanom-jeen Process. *Kasetsart Journal (Natural Science)*, 43(3), 557-565.
- Pang, W., Hou, D., Chen, J., Nowar, E. E., Li, Z., Hu, R., . . . Wang, S. (2020). Reducing greenhouse gas emissions and enhancing carbon and nitrogen conversion in food wastes by the black soldier fly. *Journal of Environmental Management*, 260, 110066.
- Pansuk, J., Junpen, A., & Garivait, S. (2018). Assessment of Air Pollution from Household Solid Waste Open Burning in Thailand. *Sustainability*, 10(7), 2553.

- Park, H. H. (2016). *The Black Soldier Fly Larvae Manual*. Massachusetts: University of Massachusetts Amherst.
- Pliantiangtam, N., Chundang, P., & Kovitvadhi, A. (2021). Growth Performance, Waste Reduction Efficiency and Nutritional Composition of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae and Prepupae Reared on Coconut Endosperm and Soybean Curd Residue with or without Supplementation. *Insects*, *12*(8), 682.
- Prameswari, G. (2018). Promosi Gizi terhadap Sikap Gemar Makan Ikan pada Anak Usia Sekolah. *Journal of Health Education*, *3*(1), 1-6.
- Purbowati, & Anugrah, R. (2020). Pengaruh Suhu dan Lama Penyimpanan terhadap Kadar Glukosa pada Nasi Putih. *Nutri-Sains: Jurnal Gizi, Pangan dan Aplikasinya*, *4*(1), 15-24.
- Purnama, S. G. (2016). *Modul Pengolahan Sampah Organik Rumah Tangga*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Purnamasari, L., & Khasanah, H. (2022). Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as a Potential Agent of Organic Waste Bioconversion. *ASEAN Journal on Science & Technology for Development*, *39*(2), 69-83.
- Rachmawati, Buchori, D., Hidayat, P., Hem, S., & Fahmi, M. R. (2010). Perkembangan dan Kandungan Nutrisi Larva *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) pada Bungkil Kelapa Sawit. *Jurnal Entomologi Indonesia*, *7*(1), 28-41.
- Riansyah, A., Supriadi, A., & Nopianti, R. (2013). Pengaruh Perbedaan Suhu dan Waktu Pengeringan terhadap Karakteristik Ikan Asin Sepat Siam (*Trichogaster pectoralis*) dengan Menggunakan Oven. *Fishtech*, *II*(1), 53-68.
- Ribeiro, N., Costa, R., & Ameixa, O. M. (2022). The Influence of Non-Optimal Rearing Conditions and Substrates on the Performance of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*). *Insects*, *13*(7), 639.
- Rohmana, N., & Maharani, D. (2022). Waste Reduction Performance by Black Soldier Fly Larvae (BSFL) on Domestic Waste and Solid Decanter. *Biotropika*, *10*(2), 141-145.
- Sanatan, P., Lomate, P., Giri, A., & Hivrale, V. (2013). Characterization of a chemostable serine alkaline protease from *Periplaneta americana*. *BMC Biochemistry*, *14*(32), 1-9.

- Santoso, S. (2018). *Menguasai Statistik dengan SPSS 25*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo.
- Saputra, D. A., Setiawan, A., Wahono, E. P., & Winarno, G. (2020). Dampak Keberadaan Tempat Pembuangan Akhir terhadap Kondisi Lingkungan dan Sosial di Masyarakat (Studi Kasus Desa Karang Rejo Kota Metro Lampung). *Ekologia: Jurnal Ilmiah Ilmu Dasar dan Lingkungan Hidup*, 20(2), 79-87.
- Saputra, R. R., Sarwono, & Sukarti, K. (2020). Peningkatan Protein dan Lemak Ikan Nila Jantan (*Oreochromis niloticus*) Setelah Diberi Pakan Buatan Dengan Tambahan (*Azolla microphylla*). *Jurnal Aquawarman*, 6(1), 182-190.
- Sebayang, N. U., Sipayung, A. M., Ayu, P. C., & Sinamo, K. N. (2022). Empowerment of Farmer Group in Bioconversion of Organic Waste Management with Utilization of Black Soldier Fly Larvae Become Organic Fertilizer "Kasgot". *Abdimas Talenta : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 7(1), 274-283.
- Sepang, D. A., Mudeng, J. D., Monijung, R. D., Sambali, H., & Mokolensang, J. F. (2021). Pertumbuhan Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) yang diberikan pakan kombinasi pelet dan maggot (*Hermetia illucens*) kering dengan presentasi berbeda. *Budidaya Perairan*, 9(1), 33-44.
- Seyedalmoosavi, M., Mielenz, M., Veldkamp, T., Daş, G., & Metges, C. (2022). Growth efficiency, intestinal biology, and nutrient utilization and requirements of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae compared to monogastric livestock species: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 13(31), 1-20.
- Shumo, M., Khamis, F. M., Tanga, C. M., Fiaboe, K. K., Subramanian, S., Ekesi, S., . . . Borgemeister, C. (2019). Influence of Temperature on Selected Life-History Traits of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Reared on Two Common Urban Organic Waste Streams in Kenya. *Animals*, 9(3), 79.
- Shumo, M., Osluga, I., Khamis, F. M., Tanga, C., Fiaboe, K., Subramanian, S., . . . Borgemeister, C. (2019). The nutritive value of black soldier fly larvae reared on common organic waste streams in Kenya. *Scientific Reports*, 9, 10110.
- Siddiqui, S. A., Ristow, B., Rahayu, T., Putra, N. S., Yuwono, N. W., Nisa, K., . . . Nagdalian, A. (2022). Black soldier fly larvae (BSFL) and their affinity for organic waste processing. *Waste Management*, 140, 1-13.

- Spranghers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Obyn, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., . . . De Smet, S. (2016). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(5), 2594–2600.
- Sriharti, Andrianto, M., & Fahriansyah. (2018). Production of Biogas from Organic Waste and its Utilization as an Alternative Energy Source. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*, 3(3), 763-769.
- Sriyundiyati, N. P., Supriadi, & Nuryanti, S. (2013). Pemanfaatan Nasi Basi sebagai Pupuk Organik Cair dan Aplikasinya untuk Pemupukan Tanaman Bunga Kertas Orange (*Bougainvillea spectabilis*). *Jurnal Akademika Kimia*, 2(4), 187-195.
- Standar Nasional Indonesia. (2006). *Pakan Buatan Untuk Ikan Lele Dumbo (Clarias gariepinus) pada Budidaya Intensif*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. (2015). *Pakan Ayam Ras Pedaging (broiler) - Bagian 3: masa akhir (finisher)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Steele, R. (1952). The Formation of Amino Acids from Carbohydrate Carbon in the Mouse. *Journal of Biological Chemistry*, 198(1), 237-244.
- ST-Hilaire, S., Sheppard, C., Tomberlin, J. K., Irving, S., Newton, L., McGuire, M. A., . . . Sealey, W. (2007). Fly Prepupae as a Feedstuff for Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 38(1), 59-67.
- Sundari, D., Almasyhuri, & Lamid, A. (2015). Pengaruh Proses Pemasakan terhadap Komposisi Zat Gizi Bahan Pangan Sumber Protein. *Media Litbangkes*, 25(4), 235-242.
- Supriyatna, A., & Ukit. (2016). Screening and Isolation of Cellulolytic Bacteria from Gut of Black Soldier Flays Larvae (*Hermetia illucens*) Feeding with Rice Straw. *Biosaintifika*, 8(3), 314-320.
- Suryani, N., Abdurrachim, R., & Alindah, N. (2016). Analisis Kandungan Karbohidrat, Serat Dan Indeks Glikemik Pada Hasil Olahan Beras Siam Unus Sebagai Alternatif Makanan Selingan Penderita Diabetes Mellitus. *Jurkessia*, 7(1), 1-9.

- Tanga, C., & Nakimbugwe, D. (2022). *Black Soldier Fly Production: Farmers Guide*. Ottawa: International Development Research Centre.
- Tanga, C., Fiaboe, K., Niassy, S., van Loon, J., Ekesi, S., & Dicke, M. (2017). *A field guide to commercially produce low-cost, high-quality novel protein source to supplement feeds for poultry, pig and fish industries and the valorization of organic by-products*. Nairobi: International Centre of Insect Physiology and Ecology.
- Taqiyuddin, M. (2022, Juni 21). *Kaifa.id*. Retrieved from www.kaifa.id: <https://www.kaifa.id/halal/apakah-pur-babi-halal/>
- Terrell, C., & Ingwell, L. (2022). *Black Soldier Fly Composting Guide*. West Lafayette: Purdue University.
- Tettamanti, G., Van Campenhout, L., & Casartelli, M. (2022). A hungry need for knowledge on the black soldier fly digestive system. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(3), 217-222.
- Thomas, P. (2023, April 25). *Tutorials Point*. Retrieved from www.tutorialspoint.com: <https://www.tutorialspoint.com/evaporation-causes-cooling#>
- Tomberlin, J. K., Adler, P. H., & Myers, H. M. (2009). Development of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) in Relation to Temperature. *Environmental Entomology*, 38(3), 930-934.
- Tomberlin, J. K., Sheppard, D. C., & Joyce, J. A. (2002). Selected Life-History Traits of Black Soldier Flies (Diptera: Stratiomyidae) Reared on Three Artificial Diets. *Annals of the Entomological Society of America*, 95(3), 379-386.
- van Huis, A., van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., & Vantomme, P. (2013). *Edible Insects: Future Prospects for Food and Feed Security*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations .
- Waduawara, S., & Manage, P. (2009). Spoilage after cooking of some rice varieties commonly consumed in Sri Lanka. *Vidyodaya Journal of Science*, 14, 131-141.
- Wahyuni, Dewi, R. K., Ardiansyah, F., & Fadhlil, R. C. (2021). *Maggot BSF - Kualitas Fisik dan Kimianya*. Lamongan: LITBANG PEMAS UNISLA.
- Wang, Y.-S., & Shelomi, M. (2017). Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Foods*, 6(10), 91.

- Wong, C.-Y., Rosli, S.-S., Uemura, Y., Ho, Y., Leejeerajumnean, A., Kiatkittipong, W., . . . Lim, J.-W. (2019). Potential Protein and Biodiesel Sources from Black Soldier Fly Larvae: Insights of Larval Harvesting Instar and Fermented Feeding Medium. *Energies*, *12*(8), 1-15.
- Woodley, N. (2001). *A world catalog of the Stratiomyidae (Insecta: Diptera)*. Washington: North American Dipterists' Society.
- Yang, F., & Tomberlin, J. (2020). Comparing Selected Life-History Traits of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Produced in Industrial and Bench-Top-Sized Containers. *Journal of Insect Science*, *20*(5), 1-6.
- Yu, G., Cheng, P., Chen, Y., Li, Y., Yang, Z., Chen, Y., & Tomberlin, J. K. (2011). Inoculating poultry manure with companion bacteria influences growth and development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Environmental Entomology*, *40*(1), 30-35.
- Yu, Y., Zhang, J., Zhu, F., Fan, M., Zheng, J., Cai, M., . . . Zhang, J. (2023). Enhanced protein degradation by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) and its gut microbes. *Frontiers in Microbiology*, *13*, 1095025.
- Yuriandala, Y., Putra, H. P., Ilmira, H. A., & Putri, R. M. (2020). Pemanfaatan Sampah Organik (Kelapa Muda, Tulang Ikan Dan Limbah Udang) di Kawasan Pantai Glagah Kulon Progo Yogyakarta. *Jurnal Mineral, Energi dan Lingkungan*, *4*(1), 32-41.
- Yuwono, A. S., & Mentari, P. D. (2018). *Penggunaan Larva (Maggot) Black Soldier Fly (BSF) dalam Pengolahan Limbah Organik*. Bogor: SEAMEO BIOTROP.
- Zula, A., & Desta, D. (2021). Fatty Acid-Related Health Lipid Index of Raw and Fried Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Fish Muscle. *Journal of Food Quality*, 1-9.