Perencanaan Pengolahan Sampah Makanan Usaha Kuliner dengan Metode BSF (*Black Soldier Fly*) di Kecamatan Sukolilo, Kota Surabaya

Rafi Ahmadiansyah Wonggo dan Susi Agustina Wilujeng
Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: wilujeng@enviro.its.ac.id

***Abstrak*—Timbulan sampah makanan meningkat seiring dengan pertambahan jumlah penduduk. Usaha kuliner termasuk salah satu sumber penghasil sampah makanan pada tahap konsumsi. Pengelolaan sampah makanan saat ini hanya mengandalkan pengumpulan, pengangkutan dan pembuangan akhir tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu. Perencanaan ini bertujuan mengidentifikasi timbulan dan komposisi sampah makanan usaha kuliner, pengolahan sampah makanan, dan aspek finansial fasilitas *Black Soldier Fly* (BSF) di Kecamatan Sukolilo, Surabaya. Pengumpulan data timbulan dan komposisi sampah dilakukan sesuai dengan SNI 19-3694-1994. Data timbulan dan komposisi sampah digunakan sebagai dasar dalam merencanakan pewadahan, pengumpulan, fasilitas BSF, sarana dan prasarana penunjang, dan SDM pengelola fasilitas. Aspek finansial meliputi biaya investasi, operasional, dan pemasukan. Laju timbulan sampah makanan usaha kuliner sebesar 0,06 kg/m²/hari dengan komposisi sampah makanan terbesar berasal dari sereal. Potensi timbulan sampah makanan Kecamatan Sukolilo untuk diolah pada fasilitas BSF sebesar 499,39 kg/hari. Lahan yang diperlukan untuk perencanaan fasilitas BSF sebesar 750 m². Produk yang dihasilkan terdiri dari produk larva kering sebanyak 12,726 kg/hari, produk larva 5 DOL segar 25,52 kg/hari, dan produk kompos 39 kg/hari. Perencanaan fasilitas BSF di Kecamatan Sukolilo, Surabaya meliputi biaya investasi sebesar Rp. 596.820.783,00, biaya operasional Rp. 526.132.936,00/tahun, dan biaya pemasukan Rp. 780.763.200,00/tahun.**

***Kata Kunci*—Analisis finansial, *Black Soldier Fly*, Sampah makanan, Usaha kuliner.**

I. PENDAHULUAN

SEMAKIN meningkatnya pertumbuhan penduduk serta perubahan pola konsumsi masyarakat menyebabkan jumlah timbulan sampah semakin meningkat. Berdasarkan data dari SIPSN, komposisi terbesar timbulan sampah di Indonesia berasal dari sampah makanan (39,69%). Indonesia menjadi negara kedua penghasil sampah makanan terbanyak yakni sebesar 300 kg/kapita/tahun [1].

Kebanyakan mempercayai bahwa sampah makanan yang diangkut ke pembuangan akhir sudah tidak memiliki nilai ekonomi dan akan mengalami dekomposisi secara alami tanpa berdampak terhadap lingkungan [2]. Sampah makanan yang seharusnya terbuang dapat dimanfaatkan untuk kegunaan lain atau menghasilkan produk sampingan [3].

Sampah dapat menjadi sumber daya yang memiliki nilai ekonomi serta dimanfaatkan, seperti untuk energi, kompos, pupuk ataupun untuk bahan baku industri [4]. Industri penyedia makanan menjadi penyumbang timbulan sampah makanan pada tahap konsumsi yang merupakan sisa makanan dari konsumen yang tidak terkonsumsi [5]. Industri penyedia makanan ini seharusnya dilakukan kontrol terhadap timbulan sampah yang dihasilkan.

Tabel 1.
Jumlah Usaha Kuliner Berdasarkan Klasifikasi

Klasifikasi	Jumlah	Sampel
Restoran 30-100 m²	7	2
Restoran 100-200 m²	14	2
Restoran 200-400 m²	9	2
SWK	4	2
Total	34	8

Tabel 2.
Laju Timbulan Sampah Makanan Usaha Kuliner

Klasifikasi	Laju Timbulan (kg/m²/hari)	Total Luas Areal (m²)
Restoran 30-100 m²	0,053	495,11
Restoran 100-200 m²	0,075	1978,96
Restoran 200-400 m²	0,027	3001,00
SWK	0,003	2848,11

Tabel 3.
Densitas Sampah Makanan Usaha Kuliner

Klasifikasi	Densitas (kg/m³)
Restoran 30-100 m²	497,44
Restoran 100-200 m²	573,36
Restoran 200-400 m²	451,20
SWK	317,84
Rata-rata	459,96

Restoran dan Sentra Wisata Kuliner (SWK) menjadi salah satu fasilitas yang menyumbang timbulan sampah makanan. Kecamatan Sukolilo, Kota Surabaya memiliki restoran sejumlah 36 dan SWK sebanyak 4 [6-7]. Komposisi sampah makanan dari Restoran dan SWK terdiri dari sisa makanan, sayuran, buah, dan bahan makanan lain yang tidak termasak, serta bahan lainnya yang berpotensi membusuk [8-9].

Teknologi dalam mengurangi sampah makanan dapat berupa komposting, *anaerobic digester* dan memanfaatkan larva serangga [10-11]. Salah satu larva serangga yang digunakan dalam mengolah sampah makanan yakni *Black Soldier Fly* (BSF) [12].

Larva BSF mengkonsumsi sampah dan mengubahnya menjadi produk biomassa larva serta residu yang memiliki karakteristik mirip dengan kompos [13]. Produk yang dihasilkan dari pengolahan dengan BSF memiliki nilai ekonomi dan dapat menghasilkan keuntungan sesuai dengan prinsip ekonomi sirkuler [14].

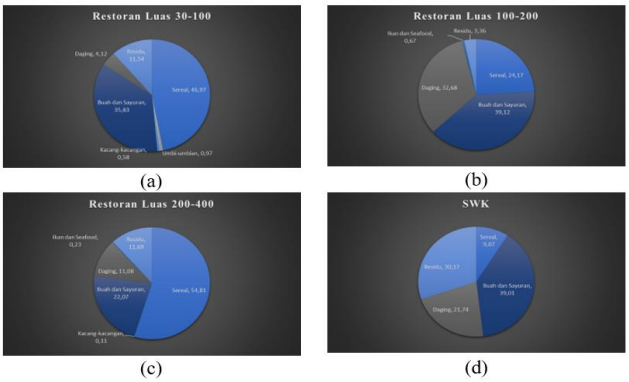
Maka dari itu, dibutuhkan perencanaan fasilitas BSF untuk mengolah sampah makanan usaha kuliner Kecamatan Sukolilo serta estimasi biaya yang diperlukan dan/atau dihasilkan dari penjualan produk hasil pengolahan. Perencanaan ini diharapkan dapat menjadi skenario alternatif dan bahan pertimbangan untuk diterapkan guna mengurangi timbulan sampah mak anan di Kecamatan Sukolilo, Kota Surabaya.

Tabel 4.
Perencanaan Pewadahan dan Pengumpulan

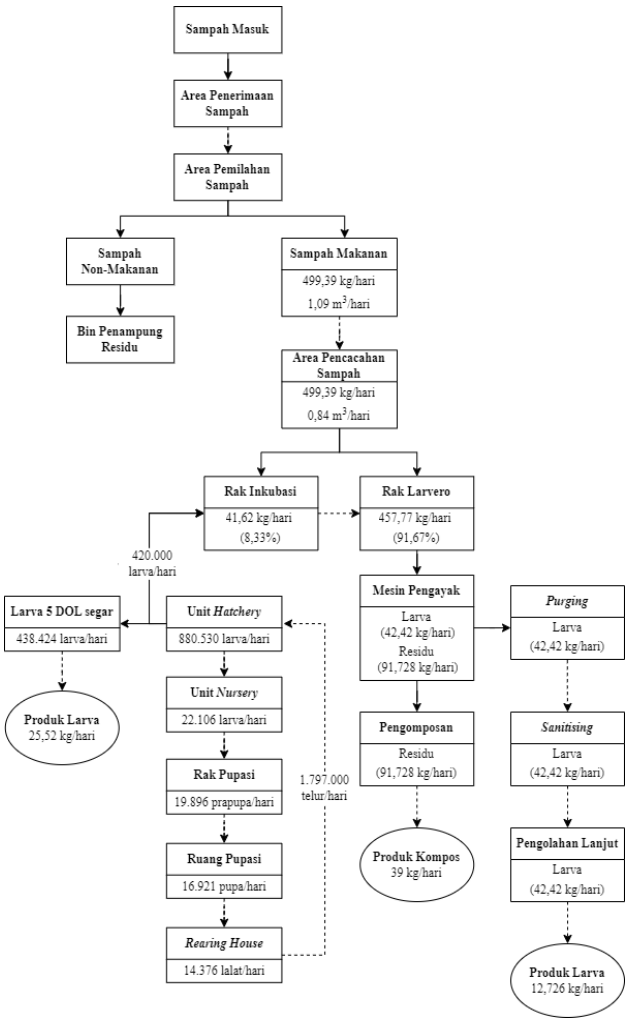
Indikator	Eksisting	Rencana
Pewadahan		
Pola pewadahan	Individual	Individual
Jenis wadah	trash bag bin sampah bin dengan roda wadah permanen	bin 30 Liter 3 jenis pemilahan (organik, non-organik, B3 & Residu)
Pemilahan di sumber	20,59% lokasi usaha kuliner	100% lokasi usaha kuliner
Letak wadah	depan, belakang lokasi usaha kuliner	halaman muka lokasi usaha kuliner
Pengumpulan		
Alat pengumpul	82,35% gerobak sampah 63,64% tercampur pemukiman 36,36% khusus lokasi usaha kuliner 17,65% motor roda tiga, becak motor, mobil *pick up*	Kontainer sampah roda tiga kapasitas 2 m^3
Biaya retribusi	Rp 150.000 - Rp. 350.000 (30-100 m^2) Rp. 100.000 - Rp. 500.000 (100-200 m^2) Rp. 100.000 - Rp. 600.000 (200-400 m^2) Rp. 100.000 - Rp. 1.500.000 (SWK)	Rp. 50.000/bulan
Pola pengumpulan	-	langsung ke sumber
Ritasi	-	1 ritasi

Tabel 5.
Perencanaan Unit Pra-pengolahan Sampah

Indikator	Nilai	Satuan
Area Penerimaan Sampah		
Jumlah alat pengumpul	1	unit
Dimensi kendaraan	3,28 x 1,25	m
Freeboard	2	m
Luas lahan	10,7	m^2
Area Pemilahan Sampah		
Tinggi maksimal sampah	10	cm
Dimensi lahan	5,45 x 2	m
Luas lahan	10,9	m^2
Area Pencacahan Sampah		
Dimensi mesin	1,60 x 0,77 x 1,33	m
Kapasitas Mesin	1500	kg/jam
Waktu pencacahan	20,40	menit
Freeboard	2,00	m
Dimensi lahan	3,60 x 2,77	m
Luas lahan	9,96	m^2



Gambar 1. Komposisi sampah makanan (a) Restoran 30-100 m^2 (b) Restoran 100-200 m^2 (c) Restoran 200-400 m^2 (d) SWK.



Gambar 2. Alur fasilitas BSF.

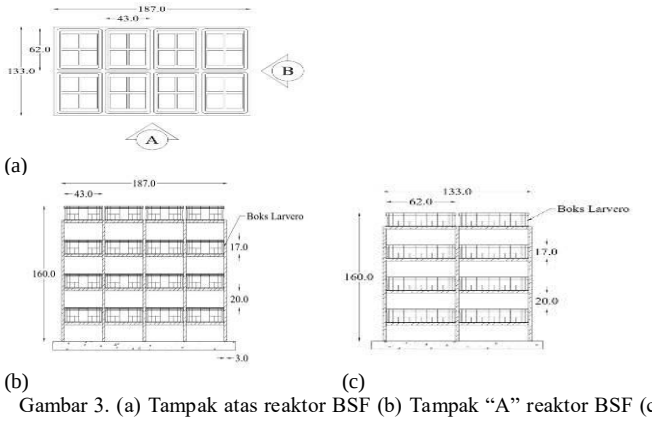
II. METODE PERE NCANAAN

A. Identifikasi Awal Perencanaan

Identifikasi awal perencanaan dimulai dengan identifikasi jumlah usaha kuliner yang akan dilayani. Usaha kuliner yang akan dilayani fasilitas BSF terdiri dari restoran dengan luas areal maksimal 400 m^2 dan SWK. Usaha kuliner yang sudah diidentifikasi sebagai are a pelayanan kemudian disebarkan kuisioner yang bertujuan untuk mengetahui eksisting pewadahan dan pengumpulan , jam operasional, serta ketertarikan menjadi nasabah fasilitas BSF. Lahan rencana fasilitas BSF terletak di lahan kosong sekitar TPS Keputih IPLT Kelurahan Keputih, K ecamatan Sukolilo. Lahan rencana memiliki batas administrasi yang sama dengan area pelayanan yakni Kecamatan Sukolilo serta jarak terdekat dan terjauh dengan area pelayanan berturut-turut 1,03 km dan 4,1 km. Lahan rencana merupakan tanah aset Pemerintah Kota Surabaya. Pada lahan rencana terdapat akses jalan yang memadai untuk mobilitas kendaraan pengumpul sampah. Fasilitas BSF memiliki periode perencanaan selama 5 tahun.

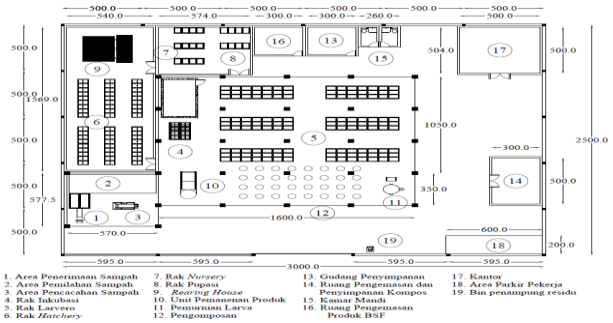
B. Identifikasi Timbulan, Komposisi, dan Densitas Sampah Makanan Usaha Kuliner

Pengukuran dilakukan berdasarkan SNI 19-3964-1994 menggunakan metode sampling langsung. Laju timbulan sampah makanan usaha kuliner dinyatakan dalam luas areal (m^2). Usaha kuliner akan dibagi menjadi 4 klasifikasi yang terdiri dari restoran luas 30-100 m^2, restoran luas 100-200 m^2,

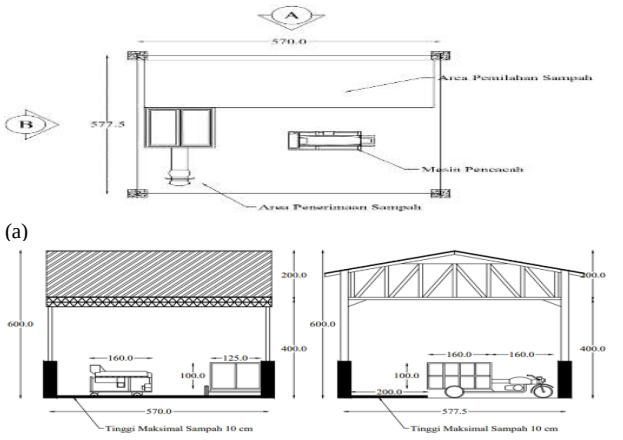


(a) (b) (c)

Gambar 3. (a) Tampak atas reaktor BSF (b) Tampak "A" reaktor BSF (c tampak "B" reaktor BSF.



Gambar 4. Denah fasilitas BSF.



(a) (b) (c)

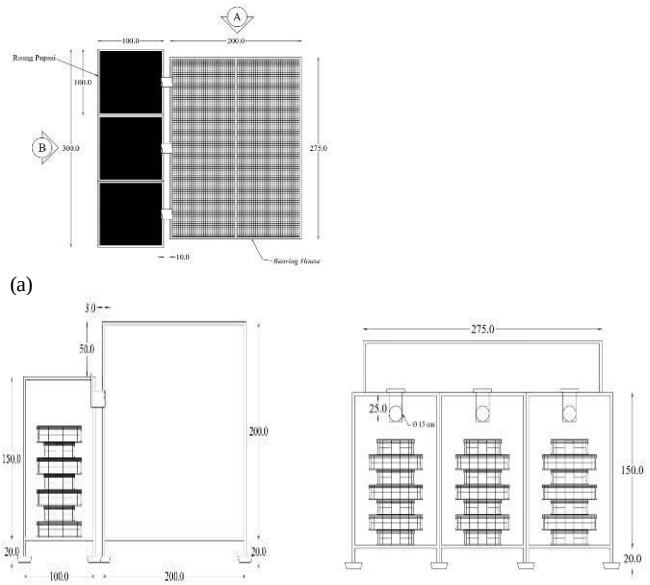
Gambar 5. (a) Denah Unit Pra-pengolahan sampah (b) Tampak "A" unit pra pengolahan sampah (c) Tampak "B" unit pra-pengolahan sampah.

restoran luas 200-400 m^2, dan SWK. Kemudian ditentukan jumlah sampel berdasarkan perhitungan (1) dan *purposive sampling* berdasarkan lokasi usaha kuliner terdekat. Jumlah usaha kuliner berdasarkan klasifikasinya dapat dilihat pada Tabel 1.

$$S = C_d\sqrt{T_s} \quad (1)$$

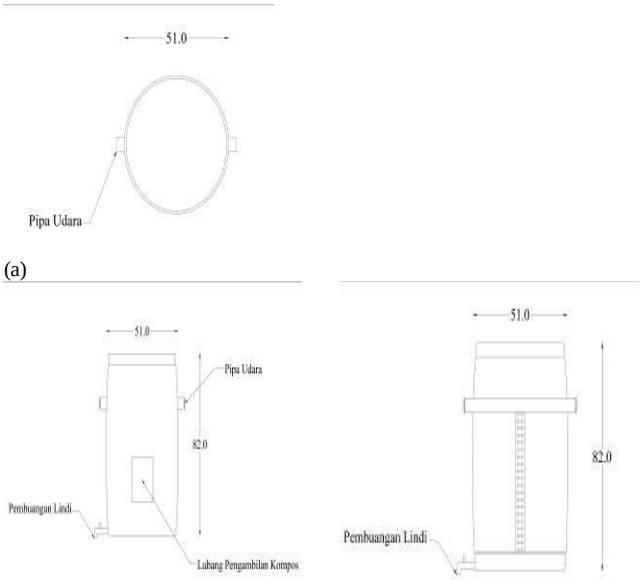
S = Jumlah Sampel
C_d = Koefisien bangunan non perumahan = 1
T_s = Jumlah bangunan non perumahan

Komposisi sampah makanan dibagi menjadi sereal, umbi-umbian, kacang-kacangan, buah dan sayuran, daging, ikan dan seafood, serta residu. Persentase komposisi sampah makanan didapatkan dengan membagi berat per komposisi dengan berat total sampah. Pengukuran densitas sampah menggunakan kotak densitas 40 Liter. Sampah dimasukkan kedalam kotak densitas kemudian dihentakkan ke tanah dengan ketinggian 20 cm seba nyak 3 kali. Densitas sampah



(a) (b) (c)

Gambar 6. (a) Tampak atas *rearing house* & ruang Pupasi (b) Tampak "A" *rearing house* & ruang pupasi (c) Tampak "B" *rearing house* & ruang pupasi.



(a) (b) (c)

Gambar 7. (a) Tampak atas pengomposan (b) Tampak samping pengomposan (c) Tampak potongan pengomposan.

didapatkan dengan membagi berat sampah dengan volume sampah setelah dihentakkan.

C. Perencanaan Fasilitas BSF

Perencanaan fasilitas BSF meliputi segala aspek yang dibutuhkan dari mulai sampah dihasilkan sampai ke fasilitas pengolahan. Perencanaan fasilitas BSF terdiri dari:

1. Perencanaan pewadahan (pola, dimensi, dan jumlah wadah) dan pengumpulan (pola, rute, dan alat pengumpul) dari sumber sampah ke tempat pengolahan.
2. Perencanaan fasilitas BSF meliputi pra-pengolahan sampah, pengolahan sampah, pembiakan, pemanenan produk, serta pasca pengolahan.
3. Perencanaan sarana dan prasarana penunjang meliputi kebutuhan peralaran, kantor, gudang penyimpanan peralatan dan bahan, ruang persiapan, penjualan produk, kebutuhan air bersih, drainase, dan area parkir pekerja.

Tabel 6.
Perencanaan Unit Pengolahan Sampah

Indikator	Nilai	Satuan
Tahap Inkubasi		
Sampah Masuk	41,62	kg/hari
Kapasitas Boks Inkubator	1	kg/unit
Boks per hari	42	unit/hari
Periode pengisian	3	hari
Total boks inkubator	126	unit
Jumlah boks larvero	32	unit
Susunan boks	4 x 2 x 4	
Dimensi rak	1,87 x 1,33 x 1,6	m
Freeboard	1,00	m
Dimensi lahan	2,87 x 2,33	m
Luas lahan	6,69	m^2
Tahap Pengolahan		
Sampah Masuk	457,77	kg/hari
Kapasitas Larvero	11	kg/unit
Larvero per hari	42	unit/hari
Periode pengisian	9	hari
Total larvero	378	unit
Total rak larvero	6	unit
Susunan boks	3 x 7 x 3	
Dimensi rak	1,41 x 4,58 x 1,2	m
Susunan rak	3 x 2	
Freeboard	2	m
Dimensi lahan	10,23 x 13,16	m
Luas lahan	134,63	m^2

4. Perencanaan SDM pengelola me liputi jumlah dan upah pekerja.

D. Aspek Finansial

Aspek Finansial meliputi biaya yang diperlukan dan dihasilkan dari fasilitas BSF. Aspek finansial terdiri dari:

1. Biaya investasi, didapatkan dari perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) perencanaan fasilitas BSF.
2. Biaya operasional, meliputi biaya operasional dan perawatan fasilitas BSF serta upah pekerja fasilitas BSF.
3. Biaya pemasukan, didapatkan dari penjualan produk hasil pengolahan fasilitas BSF.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Potensi Sampah Makanan Usaha Kuliner

Luas areal total usaha kuliner Kecamatan Sukolilo sebesar 8323,18 m^2. Laju timbulan sampah makanan usaha kuliner dipengaruhi oleh jumlah pengunjung serta lamanya jam operasional usaha kuliner.

Semakin banyak pengunjung dan semakin lama jam operasional usaha kuliner, maka jumlah makanan yang dimasak semakin banyak serta kemungkinan sampah dari sisa proses memasak dan sisa makanan pengunjung semakin banyak. Laju timbulan sampah makanan usaha kuliner berdasarkan klasifikasinya da pat dilihat pada Tabel 2.

Semakin besar luas areal dari usaha kuliner tidak berpengaruh terhadap peningkatan nilai laju timbulan sampah makanan. SWK memiliki nilai laju timbulan yang terkecil dibandingkan klasifikasi usaha kuliner lainnya.

Hal ini dikarenakan pada SWK, kebanyakan pedagang tidak melakukan proses memasak makanan di tempat dan sebagian besar pembeli makanan membeli makanan dengan cara *take away*. Nilai rata-rata laju timbulan sampah makanan usaha kuliner dihitung berdasarkan rentang standar deviasi menggunakan persamaan (2).

$$\frac{\Sigma(Laju\ Timbulan \times Jumlah\ Lokasi\ per\ Klasifikasi}{Jumlah\ Total\ Lokasi} \quad (2)$$

Nilai laju timbulan sampah makanan SWK terlalu kecil sehingga tidak masuk ke dalam rentang perhitungan. Berdasarkan persamaan (2), didapatkan nilai rata-rata laju timbulan sampah makanan Kecamatan Sukolilo sebesar 0,06 kg/m^2/hari. Komposisi sampah makanan terbesar usaha kuliner pada setiap klasifikasinya berbeda.

Komposisi sampah makanan terbesar restoran luas 30-100 m^2 terdiri dari sereal (46,97%), buah dan sayuran (35,83%), residu (11,54%), daging (4,12%), umbi-umbian (0,97%), dan kacang-kacangan (0,58%). Komposisi sampah makanan terbesar restoran luas 100-200 m^2 terdiri dari buah dan sayuran (39,12%), daging (32,68%), sereal (24,17%), residu (3,36%), serta ikan dan seafood (0,67%).

Komposisi sampah makanan terbesar restoran luas 200-400 m^2 terdiri dari sereal (54,81%), bua h dan sayuran (22,07%), residu (11,69%), daging (11,08%), serta ikan dan seafood (0,23%). Komposisi sampah makanan terbesar SWK terdiri dari buah dan sayuran (39,01%), residu (30,17%), daging (21,74%), serta sereal (9,07%). Komposisi sampah makanan usaha kuliner pada setiap klasifikasinya dapat dilihat pada Gambar 1.

Densitas sampah digambarkan dalam satuan berat per volume. Pengukuran densitas sampah diperlukan untuk mengetahui volume sampah makanan usaha kuliner yang dihasilkan. Nilai densitas usaha kuliner untuk setiap klasifikasinya berbeda. Rata-rata densitas sampah makanan usaha kuliner sebesar 459,96 kg/m^3. Nilai densitas sampah makanan usaha kuliner berdasarkan klasifikasinya dapat dilihat pada Tabel 3.

Timbulan sampah makanan usaha kuliner merupakan jumlah sampah yang berpotensi dihasilkan usaha kuliner yang dinyatakan dalam satuan berat atau volume per hari. Timbulan sampah makanan usaha kuliner dapat dihitung dengan mengalikan nilai rata-rata laju timbulan dengan luas areal total usaha kuliner Kecamatan Sukolilo. Volume sampah didapatkan dengan membagi berat sampah dengan

Tabel 7.
Perencanaan Unit Pembiakan

Indikator	Nilai	Satuan
Unit *Hatchery*		
Waktu penetasan	9	hari
Jumlah boks per hari	18	unit/hari
Total boks *hatchery*	162	unit
Jumlah rak *hatchery*	6	unit
Susunan boks	9 x 1 x 3	m
Dimensi rak	4,17 x 0,68 x 1,355	m
Susunan rak	2 x 3	
Freeboard	1	m
Panjang lahan	10,34	m
Lebar lahan	5,04	m
Luas lahan	52,11	m^2
Unit *Nursery*		
Waktu *nursery*	12	hari
Jumlah boks per hari	3	unit/hari
Total boks *nursery*	36	unit
Jumlah rak *nursery*	3	unit
Susunan boks	4 x 1 x 3	
Dimensi rak	1,87 x 0,68 x 1,355	m
Susunan rak	3 x 1	
Freeboard	1	m
Panjang lahan	2,87	m
Lebar lahan	5,04	m
Luas lahan	14,46	m^2
Rak Pupasi		
Jumlah boks transfer	28	unit
Jumlah rak pupasi	1	unit
Susunan kontainer	4 x 1 x 7	
Dimensi rak	1,87 x 0,68 x 1,39	m
Freeboard	1	m
Panjang lahan	2,87	m
Lebar lahan	1,68	m
Luas lahan	4,82	m^2
Ruang Pupasi (*Dark Cage*)		
Jumlah kandang	3	unit/*RH*
Dimensi kandang	3 x 3 x 1,7	m
Rearing House (*Love Cage*)		
Jumlah kandang	1	unit
Volume minimal	9,86	m^3
Dimensi kandang	2,75 x 2 x 2	m
Freeboard	2	m
Panjang sekat	0,1	m
Panjang lahan	5	m
Lebar lahan	5,1	m
Luas lahan	25,5	m^2

densitas sampah. Maka didapatkan tim bulan sampah makanan usaha kuliner Kecamatan Sukolilo sebesar 499,39 kg/hari atau 1,09 m^3/hari.

B. Pewadahan dan Pengumpulan

Pewadahan dan pengumpulan yang direncanakan merupakan rekomendasi dari kondisi eksisting pewadahan dan pengumpulan yang didapatkan dari identifikasi awal perencanaan. Kondisi eksisting serta rencana pewadahan dan pengumpulan dapat dilihat pada Tabel 4.

Jumlah kendaraan pengumpul yang diperlukan dapat diketahui menggunakan persamaan (3). Volume sampah yang dihasilkan sebesar 1,09 m^3/hari. Faktor pemadatan yang digunakan sebesar 1,2. Sedangkan ritasi yang direncanakan sebesar 1 /hari.

$$Jumlah\ Alat\ Pengumpul = \frac{q}{c \times f \times r} \quad (3)$$

q = Volume sampah (m^3/hari)
c = Kapasitas Alat (m^3)
f = Faktor pemadatan
r = ritasi

Maka didapatkan jumlah kendaraan pengumpul yang dibutuhkan sebanyak 1 unit dengan kapasitas 2 m^3. Perencanaan pewadahan dan pengumpulan dapat dilihat pada Tabel 4.

C. Fasilitas BSF

Operasional fasilitas BSF dapat berjalan dengan optimal ketika sumber sampah yang masuk ke fasilitas memiliki jumlah yang tetap dan memiliki kualitas baik. Fasilitas BSF direncanakan sesuai dengan potensi sampah makanan usaha kuliner sebesar 499,39 kg/hari. Alur Fasilitas BSF terdiri dari unit pra-pengolahan sampah, unit pengolahan sampah, unit pemanenan produk, unit pembiakan, dan unit pasca-pengolahan [15]. Alur fasilitas BSF dapat dilihat pada Gambar 2.

Jenis reaktor yang digunakan dalam fasilitas BSF berupa rak bertumpuk yang dapat dilihat pada Gambar 3. Rak bertumpuk akan digunakan untuk menyusun kontainer dengan dimensi 62 x 43 x 17 cm yang akan diisi sesuai dengan kebutuhan masin-masing unit di Fasilitas BSF.

Pemilihan jenis reaktor mempertimbangkan beberapa aspek yang terdiri dari kebutuhan lahan, kemudahan

Tabel 10.
Perencanaan Sarana dan Prasarana Penunjang

Indikator	Nilai	Satuan
Gudang penyimpanan peralatan	3 x 3	m
Kantor	5 x 5	m
Ruang persiapan	4 x 2	m
Air bersih	814,55	L/hari
Drainase (lebar x tinggi)	20 x 25	cm
Area parkir	6 x 2	m
Penjualan produk		
Kemasan larva kering	128	buah/hari
Karung kompos	1	buah/hari

Tabel 11.
Kebutuhan Pekerja Fasilitas BSF

Indikator	Nilai	Satuan
Petugas pengumpul sampah	1	orang
Petugas unit pra pengolahan	2	orang
Petugas unit pengolahan	7	orang
Petugas unit pembiakan	3	orang
Kepala Fasilitas BSF	1	orang

operasional, efektivitas kapasitas serta peluang pengembangan kapasitas. Produk yang dihasilkan dari fasilitas BSF terdiri dari larva 5 DOL segar, larva kering, dan kompos.

Denah Fasilitas BSF dapat dilihat pada Gambar 4. Lahan yang diperlukan untuk fasilitas BSF sebesar 750 m^2 dengan dimensi 30 x 25 m.

1) Unit Pra-Pengolahan Sampah

Unit Pra-pengolahan bertujuan untuk mengatur jenis dan kondisi sampah. Sampah makanan perlu dipastikan terlebih dahulu bahwa sampah yang akan diolah bebas dari zat berbahaya seperti patogen, logam berat, serta bahan berbahaya lainnya yang dapat mempengaruhi larva BSF maupun kesehatan pekerja di fasilitas BSF [15]. Unit pra-pengolahan sampah terdiri dari area penerimaan sampah, area pemilahan sampah, dan area pencacahan sampah. Area penerimaan sampah digunakan sebagai tempat parkir kendaraan pengumpul sampah serta pembongkaran muatan sampah dari kendaraan pengumpul. Sampah makanan memiliki kandungan air yang cukup tinggi sehingga pemilahan sampah secara mekanis dengan bantuan mesin tidak direkomendasikan. Pemilahan yang direncanakan dilakukan secara manual untuk memisahkan sampah non-makanan berukuran besar yang dapat disortir secara visual. Pencacahan sampah bertujuan untuk mengatur ukuran sampah menjadi sebesar 1-2 cm. Mulut dari larva BSF cenderung mudah mengkonsumsi substrat dengan ukuran tersebut [15]. Data perencanaan unit pra pengolahan sampah dapat dilihat pada Tabel 5.

Sampah makanan cenderung memiliki bau yang menyengat karena proses pembusukan bahan organik. Maka dari itu, unit pra-pengolahan sampah akan direncanakan pada 1 area dengan jenis bangunan berupa gudang rangka baja tanpa tembok agar sirkulasi udara lebih baik. Bangunan unit pra-pengolahan sampah memiliki dimensi 5,7 x 5,775 x 6 m. Desain bangunan unit pra-pengolahan dapat dilihat pada Gambar 5.

2) Unit Pengolahan Sampah

Pengolahan sampah dengan BSF berlangsung selama 12 hari yang terdiri dari 2 tahap yakni tahap inkubasi selama 3 hari dan tahap pengolahan selama 9 hari. Larva 5 DOL terlebih dulu diberi makan substrat sampah organik dalam jumlah kecil pada tahap inkubasi selama 3 hari. Tahap inkubasi menghasilkan larva 8 DOL yang digunakan untuk mengolah sampah selama 9 hari pada tahap pengolahan. Perbandingan pemberian makan larva pada tahap inkubasi dan pengolahan yakni 1 (41,62 kg/hari) : 11 (457,77 kg/hari) dari total sampah yang dilayani fasilitas BSF sebanyak 499,39 kg/hari.

Tabel 11.
Aspek Finansial Fasilitas BSF

No	Indikator	Biaya	
A	Biaya Investasi		
I.	Tahap Pra Konstruksi	Rp	16.572.000
II.	Tahap Konstruksi	Rp	356.358.930
III.	Tahap Operasional	Rp	169.633.418
	Total + Pajak	Rp	596.820.783
B	Biaya Operasional		
I.	Upah Pekerja	Rp	41.244.722
II.	Operasional & *Maintenance*	Rp	2.599.689
	Total biaya per tahun	Rp	526.132.936
C	Biaya Pemasukan		
I.	Retribusi pelayanan pengumpulan	Rp	1.700.000
II.	Produk larva kering	Rp	57.600.000
III.	Produk larva 5 DOL segar	Rp	4.593.600
IV.	Produk kompos	Rp	1.170.000
	Total pemasukan per tahun	Rp	780.763.200

Tahap inkubasi menggunakan boks inkubator dengan dimensi 22 x 16 x 11,5 cm serta substrat sampah makanan yang diberikan 1 kg/unit untuk 10.000 larva 5 DOL. Tahap pengolahan menggunakan boks larvero dimensi 62 x 43 x 17 cm serta substrat sampah makanan yang diberikan 11 kg/unit. Pada tahap inkubasi, boks inkubator disusun di dalam boks larvero yang cukup untuk menampung 4 boks inkubator. Sedangkan pada tahap pengolahan, larva yang sudah diinkubasi selama 3 hari (larva 8 DOL) pada setiap boks inkubator dituangkan ke boks larvero.

Jenis reaktor BSF yang digunakan pada tahap inkubasi dan pengolahan merupakan rak bertumpuk seperti pada Gambar 3, namun memiliki susunan boks (panjang x lebar x tinggi) menyesuaikan jumlah kebutuhan boks larvero pada masing-masing tahap. Data perencanaan unit pengolahan sampah dapat dilihat pada Tabel 6.

3) Unit Pembiakan

Unit pembiakan bertujuan untuk menjaga jumlah larva 5 DOL yang diperlukan untuk pengolahan sampah agar lebih stabil. Jumlah boks yang perlu disediakan untuk unit pengolahan sampah sebanyak 42 unit/hari dengan kapasitas boks sebanyak 10.000 larva/unit dan total larva 5 DOL dibutuhkan sebesar 420.000 larva/hari. Perencanaan unit pembiakan didasari pada waktu fase hidup BSF dan *survival rate* BSF pada setiap fase hidupnya.

Jumlah larva BSF yang dihasilkan pada setiap fase hidupnya dapat dilihat pada Gambar 2. Unit yang terdapat pada pembiakan larva terdiri dari rak *hatchery*, rak *nursery*, rak pupasi, serta ruang pupasi dan *rearing house*. Rak *Hatchery*, rak *nursery*, dan rak pupasi menggunakan rak seperti gambar 3 dengan konfigurasi menyesuaikan jumlah boks yang diperlukan.

Ruang pupasi merupakan suatu unit yang terdiri dari rak pupasi dan ruangan gelap disebut dark cage. Rak pupasi berfungsi untuk menampung boks yang berisi larva yang melakukan proses perubahan menjadi prapupa. Pupa yang

berada di dalam boks transfer kemudian dipindahkan ke ruang pupasi atau dark cage secara bertahap untuk melakukan proses pupasi. Ruang pupasi kemudian dihubungkan dengan *rearing house*. Rearing house merupakan unit berbentuk kandang yang terbuat dari kasa dengan ukuran 1 mm yang berfungsi sebagai tempat lalat untuk kawin atau biasa disebut love cage. Gambar detail ruang pupasi dan *rearing house* dapat dilihat pada Gambar 6. Data perencanaan unit pembiakan dapat dilihat pada Tabel 7.

4) Unit Pemanenan Produk

Persentase reduksi pengolahan sampah makanan dengan larva BSF sebesar 81,8%. Larvero pada unit pengolahan dipanen setelah 12 hari pengolahan. Pada tahap pemanenan produk, larva yang dipanen merupakan larva dengan umur 17 hari dan telah mencapai berat maksimal. Tahap pada unit pemanenan produk adalah pemisahan larva dari residu dengan bantuan mesin ayakan otomatis.

Produk yang dihasilkan dari pengayakan terdiri dari tiga jenis antara lain satu fraksi larva dan dua fraksi residu. Fraksi residu pertama memiliki material mirip dengan kompos sehingga dapat langsung dikemas menjadi produk kompos. Sedangkan fraksi residu kedua memiliki ukuran yang lebih besar seperti daun, biji, dan bahan sisa lainnya.

Fraksi residu kedua perlu dilakukan pengomposan lebih lanjut dalam waktu yang lebih lama untuk dapat menghasilkan produk kompos sesuai standar. Fraksi residu pertama dan kedua memiliki persentase sebesar 40% : 60%. Data perencanaan unit pemanenan produk dapat dilihat pada Tabel 8.

5) Unit Pasca Pengolahan

Unit pasca pengolahan bertujuan untuk pemurnian larva, pengolahan lanjut produk larva, dan pemrosesan residu. Pemurnian larva menggunakan bantuan set kompor dengan wajan berdiameter 100 cm. Pada pemurnian larva, proses yang terjadi terdiri dari pembersihan (*purging*) dan sanitasi (*sanitising*). Produk larva yang telah melalui proses sanitasi akan mengalami penyusutan berat sebesar 70% [15].

Larva yang sudah dimurnikan kemudian langsung dilakukan pengolahan lanjut dengan penyangraian untuk menghindari pembusukan produk larva. Pemrosesan residu yang direncanakan yakni menggunakan pengomposan selama 30 hari dengan bin kompos dari tong berkapasitas 120 L (Gambar 7). Data perencanaan unit pasca pengolahan dapat dilihat pada Tabel 9.

D. Sarana dan Prasarana Penunjang

Sarana dan prasarana penunjang bertujuan untuk mempermudah operasional fasilitas BSF yang direncanakan. Perencanaan sarana dan prasarana penunjang dapat dilihat pada Tabel 10.

E. Kebutuhan Pekerja

Jumlah kebutuhan pekerja dihitung berdasarkan waktu operasional fasilitas BSF yakni selama 8 jam. Waktu operasional fasilitas BSF dikurangi dengan waktu istirahat yang direncanakan selama 1 jam. Maka dari itu, diasumsikan seluruh operasional setiap unit fasilitas BSF dapat selesai dengan waktu 7 jam/hari. Perhitungan jumlah pekerja dibagi berdasarkan operasional setiap unit yang terdapat di fasilitas BSF sesuai dengan jenis kegiatan yang dilakukan. Jumlah pekerja yang dibutuhkan dapat diliihat pada Tabel 11.

F. Aspek Finansial

Aspek finansial perencanaan fasilitas BSF terdiri dari biaya investasi, biaya operasional, dan biaya pemasukan.

1) Biaya Investasi

Biaya investasi didapatkan dari perhitungan Rencana Anggaran Biaya yang terdiri dari tahap pra konstruksi, tahap konstruksi, dan tahap operasional. Biaya investasi fasilitas BSF ditambah dengan pajak 10% didapatkan sebanyak Rp. 596.820.783. Detail biaya investasi dapat dilihat pada Tabel 11.

2) Biaya Operasional

Biaya operasional merupakan biaya rutin bulanan yang dikeluarkan selama fasilitas BSF beroperasi. Biaya operasional terdiri dari upah pekerja serta operasional & *maintenance* unit. Biaya operasional fasilitas BSF sebanyak Rp. 43.844.411/bulan atau Rp. 526.132.936/tahun. Detail biaya operasional fasilitas BSF dapat dilihat pada Tabel 11.

3) Biaya Pemasukan

Biaya pemasukan fasilitas BSF didapatkan dari retribusi pelayanan pengumpulan yang dibayarkan lokasi usaha kuliner dan penjualan produk hasil pengolahan. Berdasarkan Gambar 2, penjualan produk fasilitas BSF terdiri dari produk larva kering sebesar 12,726 kg/hari, produk larva 5 DOL segar sebesar 25,52 kg/hari, dan produk kompos sebesar 39 kg/hari. Produk larva kering akan dikemas menggunakan *pouch* dengan kapasitas 100 gram dengan harga jual Rp. 15.000 /buah. Larva 5 DOL segar memiliki harga jual Rp. 6.000 /kg dan produk kompos memiliki harga jual Rp. 1.000 /kg. Detail biaya pemasukan dapat dilihat pada Tabel 11.

IV. KESIMPULAN

Laju timbulan, komposisi, dan densitas sampah makanan usaha kuliner berbeda pada setiap klasifikasi usaha kuliner. Luas areal usaha kuliner tidak berpengaruh terhadap peningkatan laju timbulan sampah makanan usaha kuliner. Rata-rata Laju timbulan sampah makanan usaha kuliner sebesar 0,06 kg/m^2/hari. Komposisi sampah makanan usaha kuliner untuk setiap klasifikasinya didominasi oleh sereal dengan restoran luas 30-100 m^2, restoran luas 100-200 m^2, restoran luas 200-400 m^2, dan SWK berturut-turut 46,97%; 24,17%; sereal 54,81%; dan 9,07%. Rata-rata densitas sampah makanan usaha kuliner 459,96 kg/m^3. Potensi timbulan sampah makanan dari usaha kuliner sebesar 499,39 kg/hari atau 1,09 m^3/hari.

Perencanaan Fasilitas BSF meliputi pewadahan dengan bin 30 Liter menjadi 3 jenis. Perencanaan pengumpulan menggunakan alat pengumpul kontainer sampah roda tiga berkapasitas 2 m3 sebanyak 1 unit. Kapasitas maksimum desain fasilitas BSF sebesar 499,39 kg/hari dengan volume 1,09 m^3/hari membutuhkan lahan sebesar 750 m^2. Pengolahan sampah makanan sebanyak 499,39 kg/hari pada fasilitas BSF menghasilkan produk larva kering sebanyak 12,726 kg/hari, produk larva 5 DOL segar 25,52 kg/hari, dan produk kompos 39 kg/hari.

Perencanaan fasilitas BSF Kecamatan Sukolilo membutuhkan biaya investasi sebesar Rp. 596.820.783,00 serta biaya operasional sebesar Rp. 526.132.936,00/tahun. Penjualan produk hasil pengolahan fasilitas BSF menghasilkan biaya pemasukan sebesar Rp.

780.763.200,00/tahun.

DAFTAR PUSTAKA

[1] H. P. Saliem, S. Mardianto, Sumedi, E. Suryani, and S. M. Widayanti, "Policies and Strategies for Reducing Food Loss and Waste in Indonesia," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 892, no. 1, p. 12091, Nov. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/892/1/012091.

[2] N. Kusumowardani *et al.*, "A circular capability framework to address food waste and losses in the agri-food supply chain: The antecedents, principles and outcomes of circular economy," *J. Bus. Res.*, vol. 142, pp. 17–31, 2022, doi: 10.1016/j.jbusres.2021.12.020.

[3] M. Malahayati and T. Masui, "Potential impact of the adoption of food loss reduction technologies in Indonesia," *J. Environ. Manage.*, vol. 319, p. 115633, 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115633.

[4] Pemerintah Indonesia, "Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah." Pemerintah Indonesia, Jakarta, pp. 1–46, 2008.

[5] K. Silvennoinen, L. Heikkilä, J.-M. Katajajuuri, and A. Reinikainen, "Food waste volume and origin: Case studies in the Finnish food service sector," *Waste Manag.*, vol. 46, pp. 140–145, 2015, doi: 10.1016/j.wasman.2015.09.010.

[6] BPS Kota Surabaya, "Kecamatan Sukolilo dalam Angka 2022." Badan Pusat Statistik Kota Surabaya, Surabaya, 2022. [Online]. Available: https://surabayakota.bps.go.id/

[7] Dinas Koperasi UKM dan Perdagangan Kota Surabaya, "Jumlah Sentra Wisata Kuliner yang Beroperasi Secara Optimal." Dinas Koperasi Usaha Kecil dan Menengah dan Perdagangan, Surabaya, 2022.

[8] A. Nugroho, R. P. Djoko, and S. Danny, "Cara Mengatasai Limbah Rumah Makan," Departemen Teknik Kimia, Universitas Diponegoro, 2007.

[9] V. W. Andiese, "Pengolahan limbah cair rumah tangga dengan metode kolam oksidasi," *J. Tek. Sipil dan Infrastruktur*, vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2011.

[10] H. Rolker, M. Eisler, L. Cardenas, M. Deeney, and T. Takahashi, "Food waste interventions in low-and-middle-income countries: A systematic literature review," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 186, p. 106534, 2022, doi: 10.1016/j.resconrec.2022.106534.

[11] S. Ojha, S. Bußler, and O. K. Schlüter, "Food waste valorisation and circular economy concepts in insect production and processing," *Waste Manag.*, vol. 118, pp. 600–609, 2020, doi: 10.1016/j.wasman.2020.09.010.

[12] M. Gold, J. K. Tomberlin, S. Diener, C. Zurbrügg, and A. Mathys, "Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review," *Waste Manag.*, vol. 82, pp. 302–318, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.wasman.2018.10.022.

[13] X. Xiao *et al.*, "Efficient co-conversion process of chicken manure into protein feed and organic fertilizer by Hermetia illucens L. (Diptera: Stratiomyidae) larvae and functional bacteria," *J. Environ. Manage.*, vol. 217, pp. 668–676, 2018, doi: 10.1016/j.jenvman.2018.03.122.

[14] S. Bortolini *et al.*, "Hermetia illucens (L.) larvae as chicken manure management tool for circular economy," *J. Clean. Prod.*, vol. 262, p. 121289, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121289.

[15] R. Hartono, A. D. Anggrainy, and A. Y. Bagastyo, "Pengaruh komposisi sampah dan feeding rate terhadap proses biokonversi sampah organik oleh larva Black Soldier Fly (BSF)," *J. Tek. Kim. dan Lingkung.*, vol. 5, no. 2, pp. 181–193, 2021, doi: 10.33795/jtkl.v5i2.231.