

TESIS

**STUDI KELAYAKAN PENERAPAN BIOTEKNOLOGI PADA
PENGOLAHAN SAMPAH ORGANIK KOTA YOGYAKARTA**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan**



MUHAMMAD AFIF RAIHAN

22927017

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2025

TESIS

**STUDI KELAYAKAN PENERAPAN BIOTEKNOLOGI PADA
PENGOLAHAN SAMPAH ORGANIK KOTA YOGYAKARTA**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Derajat Magister (S2) Teknik Lingkungan**



**MUHAMMAD AFIF RAIHAN
22927017**

Disetujui,
Dosen Pembimbing:


Dr. Ir. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng

NIK. 095130404

Tanggal: 25/8/2025


Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T.

NIK. 025100407

Tanggal: 25/8/2025

Mengetahui,

Ketua Prodi Magister Teknik Lingkungan FTSP UII



Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T.

NIK. 025100407

Tanggal: 25/8/2025

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI KELAYAKAN PENERAPAN BIOTEKNOLOGI PADA PENGOLAHAN SAMPAH ORGANIK KOTA YOGYAKARTA

Telah diterima dan disahkan oleh Tim Penguji

Hari : Jum'at

Tanggal : 25 Agustus 2025


Diajukan oleh:

MUHAMMAD AFIF RAIHAN

22927017

Telah disetujui oleh:

Dr. Ir. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng.

( - 25/8 2025)

Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T.

( . 25/8 2025)

Ir. Fajri Mulva Iresha, S.T., M.T., Ph.D.

( - 26/8 2025)

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama penulis dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 15 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Afif Raihan

22927017

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah rabbil alamin, awal kata penulis menghaturkan puja dan puji syukur kepada Allah SWT Tuhan yang maha Esa, dengan segala nikmat dan karunianya serta dengan ridhonya, penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul “Studi Kelayakan Penerapan Bioteknologi Pada Pengolahan Sampah Organik Kota Yogyakarta” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Selama penyelesaian Tesis ini, penulis ingin menyampaikan ungkapan terimakasih sebesar besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Hijrah Purnama Putra, S.T., M.Eng., bapak Dr. Ir. Andik Yulianto, S.T., M.T., dan bapak Ir. Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan nasihat serta arahan selama penulis melaksanakan Tesis.
2. Bapak Herman Effendi dan Ibu Intan Farida, serta kakak dan adik penulis yang selalu mensupport penulis sampai dapat menyelesaikan kewajibannya.
3. Saudari Salma Putri Wahyuni, yang juga selalu mensupport penulis, memberikan masukan dan menyemangati selama proses penyusunan tugas akhir.

Besar harapan penulis untuk para pembaca, agar tulisan ini dapat memberikan informasi yang bermanfaat agar dapat menjadi bahan pelajaran.

“Segalanya sudah ditemukan, semuanya telah didefinisikan, ais sisanya di tanah, susun lagi di tanganmu” (Manifesto Postmodernisme, Jenny).

Akhir kata,

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 2025

Muhammad Afif Raihan

ABSTRAK

Kota Yogyakarta menghadapi tantangan serius dalam pengelolaan sampah organik, terutama setelah penutupan TPA Piyungan pada tahun 2024. Sampah organik yang mendominasi komposisi timbulan sampah kota membutuhkan solusi pengolahan yang efektif, efisien, dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kelayakan penerapan kepada tiga opsi pilihan bioteknologi dalam pengolahan sampah organik, yaitu: biokonversi menggunakan larva *Black Soldier Fly* (BSF), *Anaerobic Digestion* (AD), dan pengomposan metode bata berongga. Metode yang digunakan dalam penelitian ini bersifat deskriptif-kualitatif berdasarkan data sekunder dari instansi terkait dan studi literatur. Studi kelayakan dilakukan melalui analisis aspek teknis, ekonomi, lingkungan, dan sosial dengan pendekatan *Grid Analysis*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari ketiga opsi, biokonversi menggunakan larva BSF merupakan metode paling layak diterapkan di Kota Yogyakarta. Hal ini didasarkan pada efektivitas reduksi, BSF mampu mengolah sampah organik dalam skala besar, waktu proses yang singkat dimana dalam 1 siklus hidupnya hanya membutuhkan waktu 30-35 hari, potensi produk bernilai ekonomis seperti *fresh* maggot dan pupuk dengan pasar produk yang dapat diserap oleh sektor peternakan, pertanian, dan program pemerintah, hasil proyeksi menunjukkan nilai NPV positif dan nilai IRR diatas nilai *Cost of Capital* yang disyaratkan, nilai PP kurang dari 3 tahun dengan asumsi umur proyek selama 10 tahun, serta kebutuhan lahan dan sumber daya yang relatif rendah dibandingkan dengan opsi pengolahan sampah organik lainnya. Rekomendasi dari penelitian ini adalah pengembangan sistem pengolahan sampah organik berbasis larva BSF secara terintegritas pada skala kota sebagai upaya pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

Kata kunci: Studi kelayakan, Biokonversi, Pengolahan sampah, *Black Soldier Fly*

ABSTRACT

Yogyakarta City faces serious challenges in organic waste management, especially after the closure of the Piyungan Landfill in 2024. Organic waste, which dominates the composition of municipal waste generation, requires effective, efficient, and sustainable processing solutions. This study aims to assess the feasibility of implementing three biotechnology options in organic waste processing, namely: bioconversion using Black Soldier Fly (BSF) larvae, Anaerobic Digestion (AD), and hollow brick composting. The method used in this study is descriptive-qualitative based on secondary data from related agencies and literature studies. The feasibility study was conducted through an analysis of technical, economic, environmental, and social aspects using the Grid Analysis approach. The results of the study indicate that of the three options, bioconversion using BSF larvae is the most feasible method to be implemented in Yogyakarta City. This is based on the effectiveness of reduction, BSF is able to process organic waste on a large scale, short processing time where in 1 life cycle it only takes 30-35 days, the potential for economically valuable products such as fresh maggots and fertilizer with a product market that can be absorbed by the livestock, agricultural, and government program sectors, the projection results show a positive NPV value and an IRR value above the required Cost of Capital value, the PP value is less than 3 years assuming a project life of 10 years, and the need for land and resources is relatively low compared to other organic waste processing options. The recommendation from this study is the development of an organic waste processing system based on BSF larvae in an integrated manner on a city scale as an effort to manage sustainable waste.

Keywords: *Feasibility study, Bioconversion, Waste processing, Black Soldier Fly*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.6 Kerangka Berpikir Penelitian.....	5
1.7 Dasar Hukum	6
BAB II.....	8
TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Sampah, Jenis dan Sumber Sampah.....	8
2.2 Gambaran Umum Lokasi.....	8
2.2.1 Batas Wilayah Administrasi dan Letak Geografis	9
2.2.2 Karakteristik Wilayah	9
2.2.3 Demografi Kependudukan	10
2.3 Upaya Pengolahan Sampah.....	10
2.3.1 Pengurangan Sampah.....	10
2.3.2 Penanganan Sampah	11
2.3.3 Pengolahan Sampah Eksisting Kota Yogyakarta.....	12
2.3.4 Tantangan Pengelolaan Sampah Organik Kota Yogyakarta	13
2.4 Studi kelayakan dan Opsi Teknologi Pengolahan	14

2.4.1	Faktor Pendukung Pengolahan Sampah.....	20
2.4.2	Kompleksitas Proses	21
2.4.3	Pengambilan Keputusan dan Metode <i>Grid Analysis</i>	26
2.5	Studi-Studi Terdahulu	27
BAB III		29
METODE PENELITIAN.....		29
3.1	Diagram Alir Penelitian	29
3.2	Subjek dan Objek Penelitian	30
3.2.1	Subjek Penelitian	30
3.2.2	Objek Penelitian.....	30
3.3	Metode pengumpulan data	30
3.3.1	Jenis Penelitian.....	30
3.3.2	Sumber data	30
3.4	Teknik Analisis Data	31
3.4.1	Penentuan Area Layanan	31
3.4.2	Proyeksi Penduduk.....	31
3.4.3	Proyeksi Timbulan Sampah	32
3.4.4	Kajian Penerapan Bioteknologi	32
3.4.5	Studi Kelayakan Pemilihan Bioteknologi	33
BAB IV		59
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		59
4.1	Proyeksi Penduduk dan Timbulan Sampah Kota Yogyakarta.....	59
4.1.1	Proyeksi hitung mundur penduduk	60
4.1.2	Proyeksi hitung maju penduduk.....	61
4.2	Timbulan Sampah, Komposisi dan Massa jenis.....	61
4.3	Analisis Beban Pengolahan Sampah Organik	64
4.4	Kajian Aspek Teknis Penerapan Bioteknologi.....	64
4.4.1	Potensi Pengolahan Sampah Organik	65
4.4.2	Kapasitas Pengolahan dan Waktu Proses.....	65
4.4.3	Tingkat Reduksi Sampah	67
4.4.4	Estimasi Kebutuhan Lahan	69
4.5	Kajian Aspek Ekonomi Penerapan Alternatif Bioteknologi.....	73

4.6 Kajian Aspek Lingkungan Penerapan Alternatif Bioteknologi	78
4.6.1 Potensi Timbulan Bau dan Vektor Penyakit	78
4.6.2 Risiko Emisi.....	79
4.7 Kajian Aspek Sosial Penerapan Alternatif Bioteknologi	83
4.7.1 Potensi Konflik Antara Masyarakat.....	83
4.7.2 Kesiapan SDM dalam Pengoperasian Teknologi.....	84
4.8 Penilaian Aspek-Aspek Penerapan Alternatif Bioteknologi.....	85
BAB V	93
KESIMPULAN DAN SARAN.....	93
5.1 Kesimpulan	93
5.2 Saran	94
DAFTAR PUSTAKA.....	95
LAMPIRAN.....	99

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Jenis Pengomposan yang Umum digunakan Pengolahan Sampah Kota.....	19
Tabel 2. 2 Faktor Pendukung Pengolahan Sampah dari Beberapa Metode	20
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu.....	27
Tabel 3. 1 Jenis data dan sumbernya.....	31
Tabel 3. 2 Tabel Proyeksi Timbulan Sampah.....	32
Tabel 3. 3 Proyeksi output Pengolahan.....	34
Tabel 3. 4 Estimasi Kebutuhan Investasi Awal	41
Tabel 3. 5 Estimasi Kebutuhan Investasi Aset	42
Tabel 3. 6 Estimasi Harga Pokok Produksi.....	42
Tabel 3. 7 Estimasi Laporan Laba/Rugi.....	43
Tabel 3. 8 Analisis Kebutuhan Sumber Daya (kebutuhan per ton sampah)	48
Tabel 3. 9 Rekapitulasi Beban Emisi dari Sumber Daya Opsi Pengolahan	49
Tabel 3. 10 Langkah Dalam Pembuatan Grid Analysis	55
Tabel 3. 11 Petunjuk Penilaian Menggunakan Metode Grid Analysis.....	56
Tabel 3. 12 Tabel Nilai Akhir Penilaian Aspek Studi Kelayakan Opsi Bioteknologi	58
Tabel 4. 1 Persentase Rata-Rata Timbulan Sampah Organik Kota Yogyakarta	63
Tabel 4. 2 Nilai Potensi Daur Ulang Jenis Sampah	65
Tabel 4. 3 Skenario Pengolahan Sampah Organik Kota Yogyakarta	66
Tabel 4. 4 Proyeksi output Pengolahan menggunakan alternatif Larva BSF.....	67
Tabel 4. 5 Estimasi Kebutuhan Lahan Penggunaan Metode BSF	70
Tabel 4. 6 Estimasi Kebutuhan Lahan Penggunaan Metode Anaerobic Digestion.....	71
Tabel 4. 7 Estimasi Kebutuhan Lahan Penggunaan Metode Pengomposan	71
Tabel 4. 8 Rekapitulasi Timbulan Bau dan Vektor Penyakit Penggunaan Bioteknologi.....	79
Tabel 4. 9 Jumlah Kebutuhan SDM Untuk Pengoperasian Sistem Pengolahan Sampah.....	85
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Aspek Studi Kelayakan Opsi Bioteknologi	86
Tabel 4. 11 Penilaian Aspek Studi Kelayakan Opsi Bioteknologi	89
Tabel 4. 12 Nilai bobot (Weighting Factor) Pemilihan opsi bioteknologi	90
Tabel 4. 13 Nilai Akhir Penilaian Aspek Studi Kelayakan Opsi Bioteknologi	91
Tabel 4. 14 Rekapitulasi Nilai Akhir Grid Analysis Penilaian Aspek Studi Kelayakan Opsi Bioteknologi.....	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kerangka berpikir.....	6
Gambar 2. 1 Peta Administrasi Kota Yogyakarta.....	9
Gambar 2. 2 Neraca Massa Pengolahan sampah Kota Yogyakarta tahun 2024.....	13
Gambar 2. 3 Gambaran umum proses Biokonversi menggunakan larva BSF.....	16
Gambar 2. 4 Gambaran umum proses Anaerobic Digestion.....	18
Gambar 2. 5 Siklus Hidup Larva Maggot.....	21
Gambar 2. 6 Fase telur larva BSF.....	22
Gambar 2. 7 Fase Larva BSF.....	22
Gambar 2. 8 Fase Prepupa BSF.....	23
Gambar 2. 9 Fase Pupa BSF.....	23
Gambar 2. 10 BSF Dewasa Jantan dan Betina.....	24
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	29
Gambar 3. 2 Batasan Pengolahan Penilaian Jumlah Emisi.....	47
Gambar 4. 1 Jumlah Penduduk Kota Yogyakarta.....	59
Gambar 4. 2 Rekapitulasi perhitungan mundur menggunakan 3 metode.....	60
Gambar 4. 3 Standar deviasi metode hitung mundur penduduk.....	60
Gambar 4. 4 Grafik kenaikan jumlah penduduk Kota Yogyakarta.....	61
Gambar 4. 5 Proyeksi Jumlah Timbunan Sampah 10 Tahun Kedepan.....	62
Gambar 4. 6 Komposisi sampah Kota Yogyakarta.....	63
Gambar 4. 7 Beban Pengolahan Sampah Organik Kota Yogyakarta.....	64
Gambar 4. 8 Potensi daur ulang sampah organik Kota Yogyakarta.....	65
Gambar 4. 9 Waktu Pengolahan sampah menggunakan beberapa opsi pengolahan.....	67
Gambar 4. 10 Estimasi Produk yang dihasilkan dari Proses Pengolahan.....	69
Gambar 4. 11 Area TPS3R Nitikan Umbulharjo.....	73
Gambar 4. 12 Rekapitulasi Estimasi Kebutuhan Investasi Aset Tetap.....	74
Gambar 4. 13 Rekapitulasi Estimasi Harga Pokok Produksi.....	75
Gambar 4. 14 Rekapitulasi Estimasi Laporan Laba/Rugi.....	76
Gambar 4. 15 Rekapitulasi Estimasi Net Present Value (NPV) Operasional 10 tahun.....	76
Gambar 4. 16 Rekapitulasi Estimasi Internal Rate of Return (IRR) Operasional 10 Tahun..	77

Gambar 4. 17 Rekapitulasi Estimasi Payback Period (PP).....	78
Gambar 4. 18 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan Biokonversi Larva BSF Skenario 1	80
Gambar 4. 19 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan Biokonversi Larva BSF Skenario 2	80
Gambar 4. 20 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan Biokonversi Larva BSF Skenario 3	80
Gambar 4. 21 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan Anaerobic Digestion Skenario 1	81
Gambar 4. 22 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan Anaerobic Digestion Skenario 2	81
Gambar 4. 23 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan Anaerobic Digestion Skenario 3	81
Gambar 4. 24 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan Pengomposan skenario 1.....	82
Gambar 4. 25 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan Pengomposan skenario 2	82
Gambar 4. 26 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan Pengomposan skenario 3	82

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sampah merupakan salah satu isu lingkungan yang serius yang dihadapi oleh masyarakat dan pemerintah (Kodrianingsih *et al.*, 2023). Menurut Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2018, pengertian dari sampah adalah sisa dari hasil kegiatan manusia sehari-hari maupun proses alam dalam bentuk padat. Sampah terbagi menjadi beberapa jenis dan berasal dari beberapa sumber, salah satu dari jenis sampah yang ada, yaitu sampah organik menjadi salah satu jenis sampah yang dihasilkan dengan jumlah terbesar di Indonesia. Sampah organik berpotensi akan menjadi permasalahan yang serius apabila tidak ditangani dengan tepat dan serius. Tantangan dalam pengolahan sampah akan semakin berat dengan terus bertambahnya penduduk dalam suatu kawasan, dimana hal ini akan berbanding lurus dengan timbulan sampah yang akan dihasilkan, maka dari itu perlu dibangun suatu sistem pengelolaan sampah yang dapat dijalankan dalam skala besar maupun skala kecil (Putri *et al.*, 2018).

Secara teori dan aplikasi, sampah organik termasuk sampah yang dapat terurai secara alami, agar proses dapat berjalan lebih cepat penguraian sampah organik dapat dilakukan dengan bantuan mikroorganisme. Namun, realita menunjukkan kurang lebih 74% sampah organik di Indonesia masih berakhir di TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) sampah (Guerrero *et al.*, 2010). Adanya penumpukan sampah dapat menimbulkan berbagai macam akibat yang bersifat negatif. Dalam hal tersebut sampah memiliki dampak yang buruk terhadap lingkungan, kesehatan maupun sosial dan ekonomi.

Sebagai contoh, jika penumpukan sampah tidak ditangani dengan baik dapat berpengaruh buruk bagi kesehatan masyarakat sehingga dapat menjadi sumber penyakit. Selain itu, sampah yang menumpuk dapat menyumbat aliran air di sekitar sehingga menyebabkan banjir bahkan air di sekitar masyarakat pun bisa ikut tercemar. Dalam kasus ini tentunya pemerintah harus lebih memperhatikan dan mengembangkan sistem pengolahan sampah dan disertai dengan kesadaran bahwa dampak dari penumpukan sampah adalah sesuatu yang seluruhnya bernilai negatif.

Sejak tahun 2012, kapasitas di TPA Piyungan telah mengalami kelebihan namun operasionalnya tetap dilaksanakan dengan menambah zona transisi penumpukan sampah seluas 2,5 Hektar sampai tahun 2024 area tersebut dinyatakan penuh, tidak dapat menampung sampah dan resmi dinyatakan tutup oleh pemerintah. Menurut konfirmasi Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta, setelah pengoperasionalan TPA Piyungan dinyatakan diberhentikan dan secara alami timbulan sampah akan terus muncul, pemerintah melakukan kegiatan penanganan sampah melalui upaya pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan pemrosesan akhir.

Biokonversi secara harfiah berarti proses yang melibatkan mikroorganisme dalam mengkonversi sampah menjadi produk yang bernilai tinggi, kegiatan biokonversi merupakan salah satu solusi yang dapat dijadikan opsi yang mutakhir dalam membentuk dan menyediakan sistem pengolahan sampah, terutama terhadap sampah organik (Fahmi *et al.*, 2015). Beberapa alternatif pengolahan yang diantaranya adalah Pengomposan, *Anaerobic Digestion*, dan Konversi menggunakan Larva BSF merupakan metode yang sering dipilih pada pengolahan sampah organik di Indonesia dan berdampak minim terhadap lingkungan.

Penyusunan dokumen studi kelayakan dilakukan untuk penilaian terhadap alternatif teknologi biokonversi yang dapat menjadi solusi pengolahan sampah organik yang sedang menjadi persoalan di Kota Yogyakarta yang penilaiannya dilakukan menggunakan beberapa opsi teknologi. Diharapkan akan terbentuk luaran yaitu hasil penentuan bioteknologi untuk mendorong sarana pengolahan sampah yang dapat diaplikasikan dalam skala kota secara mudah, murah dan berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan di atas, berikut merupakan rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Tersedia berbagai metode biokonversi dalam pengelolaan sampah kota, Pemilihan Bioteknologi menggunakan studi kelayakan dari beberapa aspek seperti aspek teknis, aspek finansial, aspek lingkungan, dan aspek sosial.

Metode mana yang dapat digunakan sebagai metode paling tepat untuk diterapkan di Kota Yogyakarta?

2. Bagaimana langkah untuk menentukan metode biokonversi pengolahan sampah yang tepat sebagai solusi permasalahan sampah yang sedang dihadapi Kota Yogyakarta?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan dari penelitian yang diharapkan dapat menjawab rumusan masalah yang ada:

1. Melakukan studi kelayakan terkait pengolahan sampah menggunakan beberapa opsi Bioteknologi.
2. Menentukan Bioteknologi yang tepat untuk dikembangkan dan diterapkan sebagai solusi pengolahan sampah.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan dapat menjadi beberapa jenis manfaat, manfaat dapat dilihat dari segi teoritis dan dari segi praktisi, adapun beberapa manfaat yang dapat diambil dari penelitian kali ini:

1. Bagi Akademik

Manfaat penelitian ini dalam bidang akademik yaitu untuk menambah pengetahuan terkait upaya sistem pengolahan limbah organik menggunakan beberapa metode dan mengetahui rancangan desain serta sistem yang akan direncanakan.

2. Bagi Praktisi

Manfaat penelitian bagi praktisi bukan hanya untuk menemukan hal-hal yang baru, namun dapat digunakan sebagai cara melihat potensi suatu hal dari sudut pandang yang berbeda, menggunakan dan memberdayakan sarana operasional pengolahan sampah agar dapat mengolah sampah secara optimal, secara garis besar penelitian bermanfaat bagi praktisi untuk memperluas pengetahuan sebagai pemecah masalah yang terjadi di lingkungan.

3. Bagi Masyarakat

Manfaat penelitian bagi masyarakat yaitu dapat dijadikan sumber ide dalam memecahkan dan menyelesaikan masalah yang ada, terutama masalah pengolahan sampah organik, dapat memberikan wawasan tentang pengolahan limbah organik secara sederhana yang dapat diaplikasikan dengan mudah dan murah, diharapkan dari penulisan karya ilmiah berikut dapat menambahkan rasa peduli masyarakat terhadap lingkungan dan mendorong rasa ingin tahu untuk menciptakan inovasi-inovasi selanjutnya yang tentunya akan berdampak positif.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian kali ini, ada batasan- batasan yang yang relevan dengan perencanaan dan menjadi ruang lingkup pada penelitian, ruang lingkup penelitian kali ini antara lain:

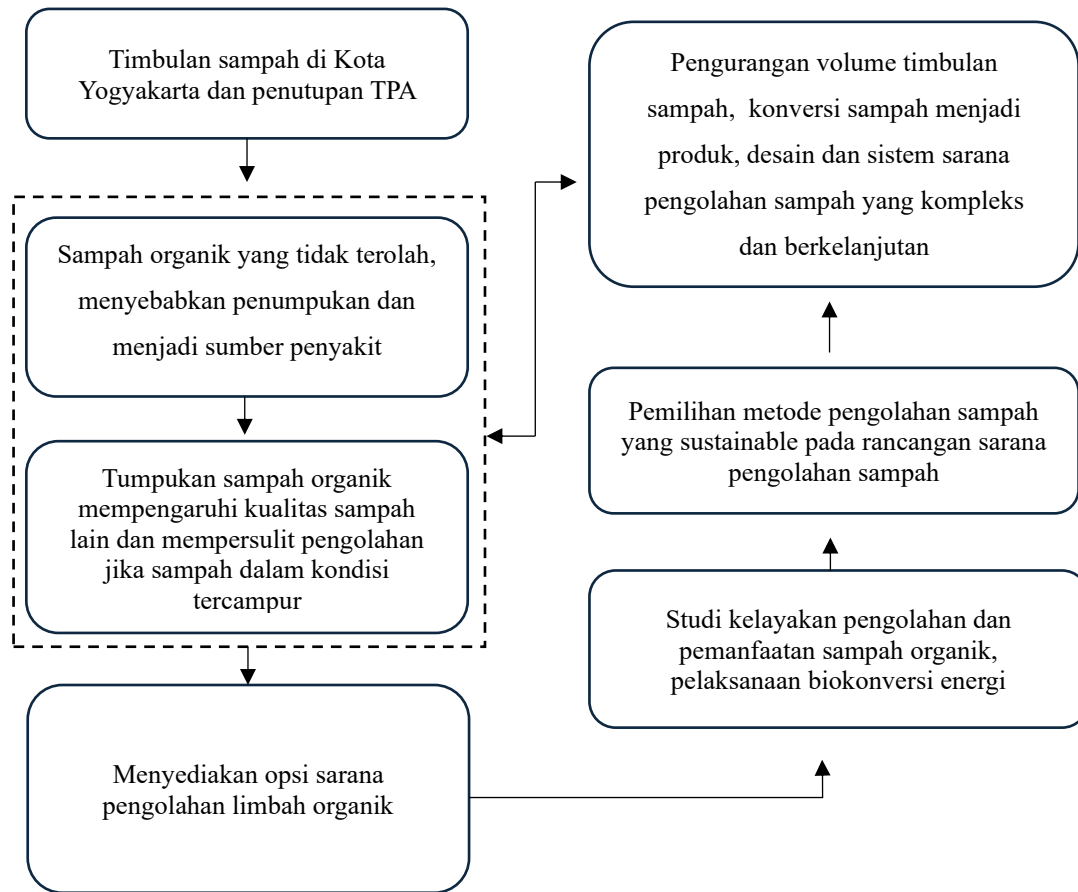
1. Kondisi pengolahan sampah eksisting Kota Yogyakarta, mencakup gambaran umum kondisi sarana pengolahan sampah terpadu Kota Yogyakarta.
2. Jenis sampah yang dikaji adalah jenis sampah organik, sampah yang dapat di biokonversi menggunakan bantuan mikroorganisme.
3. Proyeksi penduduk dan timbulan sampah organik Kota Yogyakarta 4 tahun terakhir dan proyeksi maju untuk periode implementasi selama 10 tahun (2025-2034) dengan penyesuaian terhadap kebijakan daerah dan tren pengelolaan sampah organik kedepannya.
4. Proyeksi kapasitas pengolahan sampah organik Kota Yogyakarta yang mencakup wilayah administrasi kota terdiri dari 14 kecamatan dan pengelolaan berdasarkan skala pengelolaan akhir sampah Kota Yogyakarta.
5. Kajian metode bioteknologi yang disediakan, terdiri dari:
 - A. Biokonversi menggunakan larva BSF,
 - B. *Anaerobic Digestion* metode *wet system*, dan
 - C. Pengomposan dengan metode bata berongga

Dalam kajian ini, uraian mengenai peralatan dan proses pengolahan sampah organik di titik beratkan dan difokuskan Pada tahapan inti pengolahan (*Core Treatment Process*), tahapan pra pengolahan (*Pre-treatment*) seperti pemilahan awal pencacahan maupun pasca pengolahan (*Post-treatment*) seperti pengemasan dan distribusi produk tidak dibahas secara mendalam pada kajian lingkup pembahasan.

6. Penetapan Bioteknologi yang dapat diterapkan ditinjau dari studi kelayakan yang mencakup:
 - A. Aspek Teknis,
 - B. Aspek Finansial,
 - C. Aspek Lingkungan, dan
 - D. Aspek Sosial.
7. Hasil penelitian mencakup rekomendasi penerapan teknologi yang paling layak berdasarkan hasil analisis kelayakan dilengkapi dengan kebutuhan desain dan peralatan bioteknologi terpilih namun tidak mencakup uji coba langsung atau penerapan lapangan.
8. Data pelengkap terkait penerapan bioteknologi dan sistem pengambilan keputusan yang didapat dari buku, jurnal, laporan, dll.

1.6 Kerangka Berpikir Penelitian

Untuk mempermudah dalam membentuk dan mencapai konsep yang di inginkan, dilihat dari latar belakang, rumusan masalah dan tujuan dari penelitian kali ini, maka terbentuklah kerangka berpikir sebagai berikut:



Gambar 1. 1 Kerangka berpikir

1.7 Dasar Hukum

Dalam penyajian pemilihan metode yang tepat dalam penyediaan solusi permasalahan sampah Kota Yogyakarta, berikut merupakan kajian hukum yang dapat menjadi acuan:

1. Undang-undang
 - A. Undang-Undang RI No. 30 Tahun 2007 tentang Energi
 - B. Undang-Undang RI No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah
 - C. Undang-Undang RI No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup

2. Peraturan pemerintah

- A. Peraturan Pemerintah RI No.81 tahun 2012, tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga
- B. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum RI No. 03 Tahun 2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga
- C. Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional
- D. Peraturan Presiden RI No. 97 tahun 2017, tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga
- E. Permendagri No.7 Tahun 2021, tentang Tata Cara Perhitungan Tarif Retribusi Dalam Penyelenggaraan Penanganan Sampah

3. Peraturan Daerah Kota Yogyakarta

- A. Peraturan Daerah Kota Yogyakarta Nomor 10 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah.
- B. Peraturan Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Nomor 3 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga.
- C. Peraturan Daerah Kota Yogyakarta Nomor 1 Tahun 2022 tentang Perubahan atas Peraturan Daerah Kota Yogyakarta Nomor 10 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah.
- D. Peraturan Daerah Kota Nomor 10 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Persampahan.
- E. Peraturan Walikota Yogyakarta Nomor 67 Tahun 2018 tentang Kebijakan dan Strategi Dalam Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga Kota Yogyakarta.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sampah, Jenis dan Sumber Sampah

Undang-Undang RI No.18 Tahun 2018 Tentang pengolahan sampah menyampaikan bahwa pengertian dari sampah adalah residu yang dihasilkan dari kegiatan sehari-hari manusia, pada dasarnya masyarakat masih kurang memahami bahwa tanpa adanya perlakuan khusus dalam pengolahan sampah, sampah akan terus menumpuk dan menjadi sumber dari penyakit (Salsabila, 2023), penelitian yang dilakukan oleh tim *Sustainable Waste Indonesia* menyatakan bahwa 24% sampah di Indonesia tidak terkelola dengan baik, dan dari penelitian yang dilakukan ditemukan bahwa yang mendominasi sampah di Indonesia adalah sampah organik, yaitu sebesar 60% (Ginanti, 2020).

Secara umum sampah memiliki 2 sifat, sampah organik dan sampah anorganik. Sampah organik merupakan sampah yang berasal dari makhluk hidup, mudah terurai dan memiliki kandungan nutrisi di dalamnya. Sampah organik dapat mengurai dengan bantuan dari mikroba atau jasad renik, sedangkan sampah anorganik merupakan sampah padat yang sulit terurai yang berasal dari bahan-bahan seperti plastik, logam, kertas, kaca dll (Nugroho, 2013). Sumber sampah sangat berkaitan dengan tata penggunaan lahan dan wilayah sesuai dengan peruntukannya, karena secara alami sampah akan selalu timbul dalam setiap aktivitas yang dilakukan, jenis sampah yang dihasilkan dari sumber sampah juga sangat tergantung dari aktivitas apa yang dilakukan, karena sampah merupakan sesuatu yang sudah dianggap tidak bernilai dari aktivitas baik itu secara personal, skala rumah tangga sampai skala industri (Raihan, 2022).

2.2 Gambaran Umum Lokasi

Lokasi yang digunakan dalam perencanaan dalam penelitian ini adalah Kota Yogyakarta dengan keterangan sebagai berikut:

hingga 2% dan berada pada ketinggian rata-rata 126 meter di atas permukaan laut (mdpl). Sebagian besar tanah merupakan regosol. Secara administratif Kota Yogyakarta terdiri dari 14 kecamatan dan 45 sub-wilayah. (BPS DIY, 2023).

2. Iklim dan Cuaca

Secara keseluruhan, rata-rata curah hujan tertinggi di Yogyakarta tahun 2023 terjadi pada bulan Februari sebesar 392,9 mm, sedangkan bulan tanpa hujan terjadi pada bulan September dan Oktober. Rata-rata kelembaban udara tertinggi juga terjadi pada tanggal 2 Januari, namun kecepatan angin rata-rata tertinggi terjadi pada bulan Maret yaitu mencapai 25 knot. (BPS DIY, 2023)

2.2.3 Demografi Kependudukan

Jumlah penduduk pada tahun 2024 sebanyak 378.780 jiwa, dengan rincian jumlah penduduk laki-laki sebanyak 182.790 jiwa, dan perempuan sebanyak 192.990 jiwa, dengan kepadatan penduduk 11.450/km². Di samping itu, adanya pertambahan jumlah penduduk telah mengakibatkan terjadinya pertambahan jumlah Kepala Keluarga (KK). (BPS DIY, 2025)

2.3 Upaya Pengolahan Sampah

Dalam upaya pengolahan sampah, pemerintah telah menyusun Undang-undang tentang pengolahan sampah, yaitu UU No. 18 tahun 2008 dengan upaya sebagai berikut:

2.3.1 Pengurangan Sampah

Pengolahan sampah merupakan kegiatan yang sistematis, menyeluruh dan berkesinambungan antara pengurangan dan penanganan sampah. Berdasarkan UU No.18 tahun 2008 berikut merupakan penjelasan terkait upaya pengurangan sampah:

1. Pembatasan

Merupakan langkah yang bertujuan untuk meminimalkan jumlah sampah yang dihasilkan pada sumbernya. Hal ini dapat dilakukan dengan mengurangi penggunaan bahan-bahan yang menghasilkan sampah, menggunakan barang-barang yang lebih ramah lingkungan dan mengubah pola konsumsi masyarakat.

2. Penggunaan ulang

Upaya ini mendorong penggunaan kembali barang-barang yang masih dapat digunakan agar tidak langsung menjadi sampah. Termasuk menggunakan barang bekas untuk tujuan yang sama atau berbeda tanpa pengolahan lanjut.

3. Pendaaur ulangan

Proses ini melibatkan pengolahan kembali sampah menjadi bahan mentah yang dapat digunakan untuk menghasilkan produk baru. Daur ulang bertujuan untuk mengurangi penggunaan bahan baku baru dan mengurangi jumlah sampah yang harus dibuang ke Tempat Pemrosesan Akhir.

2.3.2 Penanganan Sampah

Berdasarkan UU No.18 tahun 2008 setidaknya ada 5 upaya dalam penanganan sampah, yang adalah sebagai berikut:

1. Pemilahan

Sampah harus diklasifikasi berdasarkan jenis sumbernya, misalnya organik, anorganik, dan B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun). Pengaturan ini penting untuk memudahkan proses selanjutnya.

2. Pengumpulan

Proses pengumpulan sampah dari sumbernya (rumah tangga, industri, dll) ke tempat pengumpulan sementara atau langsung ke tempat pengolahan dan pemusnahan. Pengumpulan harus dilakukan secara teratur dan efektif.

3. Pengangkutan

Mengangkut sampah dari tempat pengumpulan sementara ke tempat pengolahan atau pembuangan akhir. Pengangkutan harus menggunakan kendaraan khusus dan mengikuti prosedur untuk memastikan tidak terjadi kontaminasi selama pengangkutan.

4. Pengolahan

Sampah yang dikumpulkan dan dipilah harus dibuang dengan cara yang ramah lingkungan. Pengolahan dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti pengomposan, pembakaran menggunakan teknologi ramah lingkungan atau daur ulang.

5. Pemrosesan Akhir

Sampah yang tidak dapat didaur ulang atau diolah lebih lanjut harus dibuang di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Tempat pembuangan sampah harus memenuhi standar lingkungan yang ditetapkan untuk mencegah pencemaran tanah, air dan udara.

2.3.3 Pengolahan Sampah Eksisting Kota Yogyakarta

Dalam upaya pengolahan sampah, bank sampah dan Tempat Pengolahan Sampah berbasis 3R (TPS3R) merupakan upaya yang digunakan Kota Yogyakarta dalam mengolah sampah yang dihasilkan, berikut merupakan gambaran umum kondisi sarana pengolahan sampah terpadu Kota Yogyakarta:

1. TPA (Tempat Pemrosesan Akhir)

Kota Yogyakarta membuang sampah yang tidak terolah secara efektif ke TPA Piyungan yang terletak di kabupaten Bantul, namun secara resmi pemerintah mengumumkan terhitung dari tanggal 1 Mei 2024 TPA Piyungan dinyatakan tutup dan tidak beroperasi kembali karena sudah mengalami kelebihan kapasitas sejak tahun 2012.

2. Bank Sampah

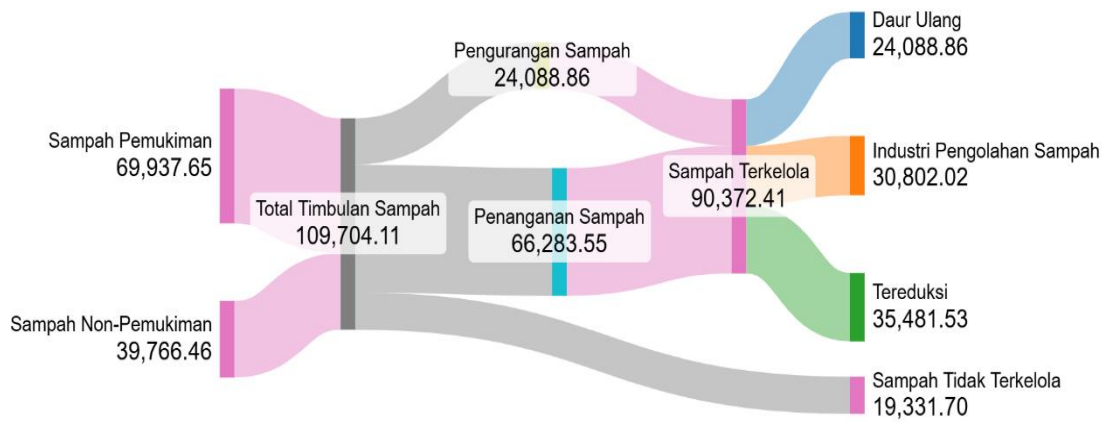
Sejak tahun 2019 jumlah bank sampah Kota Yogyakarta terus meningkat, tercatat pada saat ini kurang lebih terdapat 480 bank sampah yang terdiri dari bank sampah pembina, bank sampah inovatif, dan bank sampah reguler/pembinaan yang tersebar di 14 kemantren, 45 kelurahan, pada umumnya bank sampah mengumpulkan dan mengolah sampah anorganik untuk didaur ulang dan dapat bernilai ekonomis.

3. TPS3R (Tempat Pengolahan Sampah dengan prinsip *Reduce, Reuse, Recycle*)

Definisi TPS3R adalah fasilitas pengelolaan sampah yang fokus pada penerapan prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*). TPS3R biasanya melayani skala komunitas atau desa. Fungsi dari TPS3R bertujuan untuk meminimalkan jumlah sampah yang dihasilkan dan yang harus dibuang ke TPA dengan memaksimalkan pemanfaatan kembali dan daur ulang sampah. Komponen dari

TPS3R dilengkapi dengan fasilitas untuk pemilahan, komposting, daur ulang sederhana, dan penyimpanan sementara sampah sebelum diolah lebih lanjut, pada saat ini Kota Yogyakarta memiliki 3 TPS3R yang masih berjalan yaitu TPS3R Nitikan, Karangmiri, dan Kranon.

Alur pengolahan sampah dapat ditampilkan dalam neraca masa pengolahan sampah, menurut data SIPSN, Capaian pengolahan sampah Kota Yogyakarta pada tahun 2024 mencapai 82,38% dengan jumlah pengurangan sampah 21,96% dan penanganan sampah sebesar 60,42%, berikut merupakan neraca masa pengolahan sampah Kota Yogyakarta pada tahun 2024, dihitung berdasarkan data pengurangan sampah SIPSN Kota Yogyakarta tahun 2024



Ket: *Satuan dalam Ton/tahun

Gambar 2. 2 Neraca Massa Pengolahan sampah Kota Yogyakarta tahun 2024 (SIPSN, 2025)

2.3.4 Tantangan Pengelolaan Sampah Organik Kota Yogyakarta

Berikut merupakan evaluasi terkait pengelolaan sampah Kota Yogyakarta, khususnya kepada sampah organik. Sejak tahun 2012, kapasitas di TPA Piyungan telah mengalami kelebihan namun operasionalnya tetap dilaksanakan dengan menambah zona transisi penumpukan sampah seluas 2,5 Hektar sampai tahun 2024 area tersebut dinyatakan penuh tidak dapat menampung sampah dan resmi dinyatakan tutup oleh pemerintah.

Setelah penutupan itu terjadi Pemerintah Kota Yogyakarta memfokuskan dan mendorong kegiatan pengolahan sampah dilakukan secara mandiri, pengurangan

volume sampah dan peningkatan kegiatan daur ulang merupakan upaya yang sudah dilakukan oleh pemerintah dengan bantuan peran masyarakat yang ikut mendukung kegiatan desentralisasi pengolahan sampah Kota Yogyakarta, namun tidak semua masyarakat Kota Yogyakarta aktif dalam peran mengolah sampah, masih banyak masyarakat yang memiliki paradigma bahwa pengelolaan sampah masih menggunakan skema kumpul-angkut-buang dan menganggap pengolahan sampah bukanlah tanggung jawab pribadi.

2.4 Studi kelayakan dan Opsi Teknologi Pengolahan

Studi kelayakan adalah kegiatan analisa yang dilakukan untuk mengevaluasi rencana proyek yang dilakukan dapat berhasil atau tidak, dalam kegiatan analisa studi kelayakan, ada beberapa pertimbangan aspek yang dapat mempengaruhi keberhasilan proyek, seperti aspek hukum, ekonomi, teknis, sosial dan lingkungan (Subagyo, 2008) secara umum studi kelayakan menggambarkan kekuatan dan kelemahan dari aspek-aspek yang dianalisa.

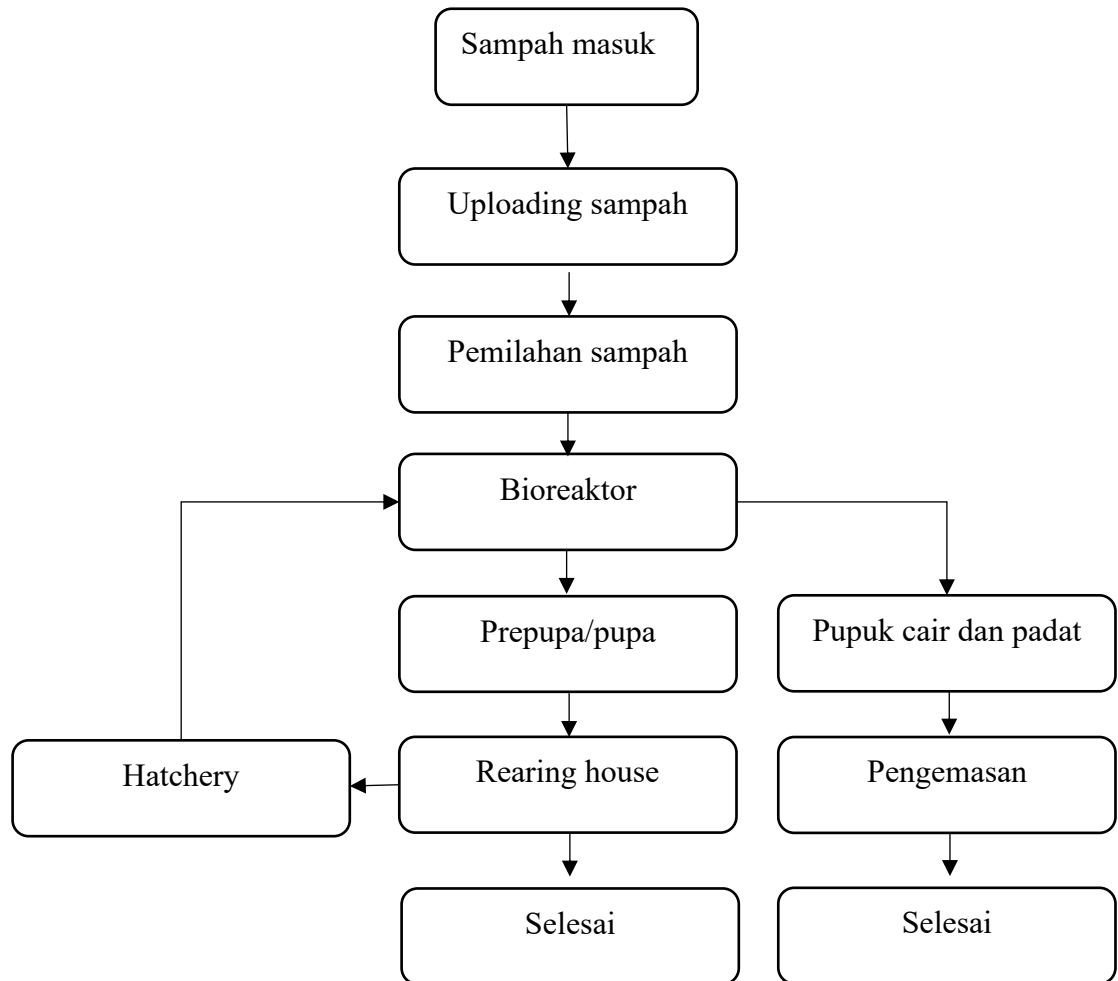
Pada penelitian kali ini, pengolahan sampah organik Kota Yogyakarta menggunakan 3 opsi metode pengolahan yang akan dilakukan studi kelayakannya. Pemilihan bioteknologi pengolahan sampah organik Kota Yogyakarta yang didasarkan pada komposisi sampah yang mendominasi adalah salah satu upaya yang diharapkan dapat menekan angka timbunan sampah yang tidak terkelola dan diharapkan akan menghasilkan produk yang bernilai. Berikut merupakan opsi bioteknologi untuk sistem pengolahan sampah yang akan direncanakan:

A. Biokonversi menggunakan maggot BSF

Proses biokonversi merupakan salah satu proses perubahan bentuk dari limbah menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat, aktivitas ini dapat dibantu oleh beberapa mikroorganisme seperti bakteri, jamur, dan larva serangga (Newton *et al.*, 2005)(Warburton *et al.*, 2002). Kegiatan biokonversi menggunakan larva maggot memiliki salah satu kunci keberhasilan yaitu dengan cara memproduksi banyak larva maggot yang akan digunakan sebagai pengurai sampah (fahmi *et al.*, 2007).

Dari hasil penyerapan nutrisi yang masih terkandung di sampah organik maka akan ada residu yang dihasilkan, biomassa dari residu kegiatan penguraian masih dapat digunakan sebagai pupuk organik. Biokonversi menggunakan BSF merupakan teknologi daur ulang yang memanfaatkan Larva Black Soldier sebagai subjek pereduksi-sampah di mana larva akan mengubah sampah menjadi sumber makanan dan mengubahnya menjadi sumber protein, larva dapat mengubah lebih dari 50% sampah organik yang diberikan dan akan merubahnya menjadi protein kasar sebesar 40%, pupuk organik sebesar 60-70% (Sastro,2016), Larva *Black Soldier Fly (Hermetia illucens)* atau yang biasa dikenal dengan maggot, merupakan salah satu biodegradator yang dikenal dapat mengolah sampah organik jauh lebih cepat dari teknologi pengomposan konvensional yang biasa digunakan masyarakat Indonesia. Larva maggot dapat mengolah sampah organik dengan cara mengurai dan menyerap sari sari nutrisi di sampah organik sebanyak 2 -5 kali bobot tubuhnya dalam waktu 24 jam (Fauzi, 2019).

Berikut merupakan gambaran umum proses pengolahan sampah organik menggunakan larva BSF:



Gambar 2. 3 Gambaran umum proses Biokonversi menggunakan larva BSF (DLH Sumatera Barat, 2022)

Hasil biokonversi sampah organik menggunakan BSF berpotensi dapat menghasilkan produk berupa pakan ternak, pupuk organik padat, pupuk organik cair, dan beberapa olahan lainnya.

B. *Anaerobic Digestion*

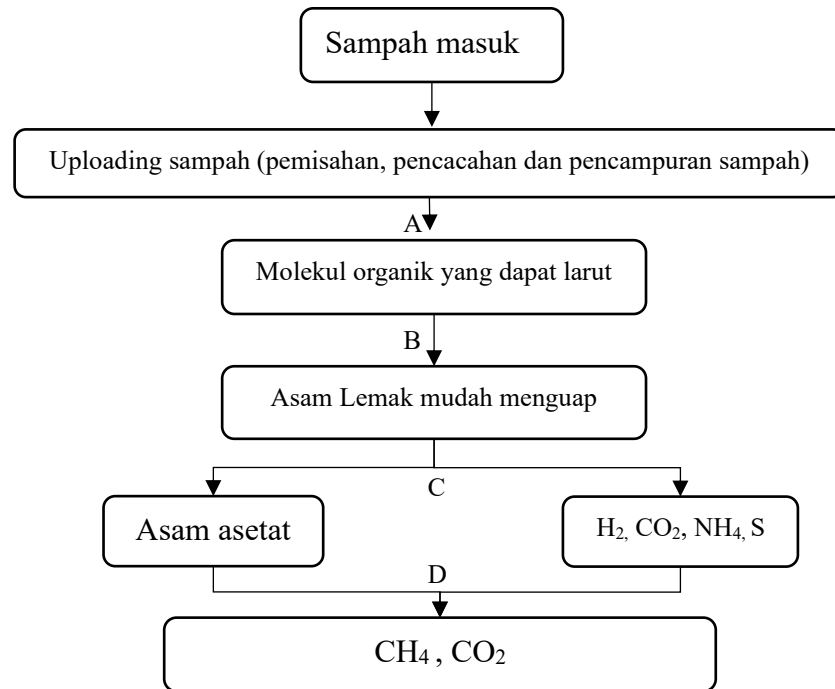
Anaerobic Digestion adalah teknologi yang memanfaatkan proses biologis di mana sampah organik akan diurai oleh mikroorganisme dalam keadaan anaerobik kemudian akan mencerna bahan organik melalui sistem degradasi menjadi bentuk yang lebih stabil dan menjadi gas yang terdiri dari metan dan karbondioksida.

Bakteri yang digunakan pada proses ini antara lain bakteri hidrolitik, bakteri fermentatif, bakteri asidogenik, bakteri metanogenik, bakteri tersebut berperan mengubah gula menjadi asam amino, kemudian diubah kembali menjadi hidrogen, karbondioksida, dan asam asetat, kemudian diubah kembali menjadi gas metan. Temperatur, pH, rasio C/N, inokulasi dan *startup*, laju beban organik dan waktu detensi merupakan beberapa parameter kontrol pada proses produksi, produk yang dihasilkan menggunakan metode ini secara umum adalah Biogas dengan kandungan 60%CH₄ dan 40% CO₂ (*The Andersons Center*, 2010).

Menurut DLH Sumatera Barat (2022) dalam penggunaannya secara umum metode ini memiliki keuntungan yaitu dapat mengubah sampah menjadi produk dengan pencemaran yang minim, produksi biogas yang dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil untuk keperluan pemanas ruangan, boiler, mesin, atau untuk kebutuhan konversi energi ke energi listrik, dibalik keuntungannya ada kekurangan yang harus diperhatikan dalam penyimpanan gas, proses dekomposisi akan terus menghasilkan biogas dan jika tidak terpelihara dengan baik maka akan menimbulkan kontaminasi gas metana dan lebih buruknya dapat memicu ledakan.

Dalam operasionalnya proses pengolahan sampah menggunakan metode ini membutuhkan waktu yang lebih panjang karena reproduksi bakteri anaerob sangat tergantung dengan perubahan kondisi lingkungan, sehingga pada sistem ini lebih baik dilakukan pengolahan secara sederhana (fermentasi) sebelum pengolahannya dilakukan di dalam reaktor.

Pada perencanaan kali ini direncanakan teknologi *Anaerobic Digestion* dengan sistem basah hal ini didasarkan pada proses sistem basah yang lebih sederhana karena substrat akan terendam dalam air dan dilakukan pengadukan di dalam reaktor, dan terlepas dari keterbatasan yang dimiliki sistem ini, pengaplikasiannya masih banyak digunakan di beberapa negara, berikut merupakan gambaran umum proses pengolahan sampah organik menggunakan *Anaerobic Digestion*:



Ket: A= *Hydrolisis*, B=*Acidosis*, C=*Acetogenesis*, D= *Methanogenesis*

Gambar 2. 4 Gambaran umum proses *Anaerobic Digestion* (Hamilton, 2017)

C. Pengomposan

Merupakan kegiatan dekomposisi yang dilakukan oleh mikroorganisme terhadap sampah organik untuk menghasilkan bahan yang secara biologis bersifat stabil, proses alamiah yang mengurai bahan organik menjadi humus dan sumber mineral, proses ini secara alami akan mengurai materi organik menjadi bahan material dan humus, pada prosesnya yang secara aerob akan menimbulkan panas dan akan membunuh bakteri patogen yang berpotensi membuat proses pengomposan menjadi gagal.

Proses pengomposan secara umum terbagi menjadi dua tahap yang pertama yaitu proses pembuatan pupuk kompos setengah matang yang membutuhkan waktu kurang lebih 21 hari dan pematangan kompos yang lebih dari 28 hari, kondisi Ph, temperatur, kadar air merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam proses pengomposan. dalam kegiatannya secara aerob, maka akan timbul temperatur yang tinggi yang menyebabkan bakteri patogen, serangga, larva lalat

yang berada di sampah organik akan mati (Damanhuri,2016). Penggunaan teknik pengomposan dalam pengolahan sampah organik sudah cukup umum digunakan di beberapa kota di Indonesia, berikut merupakan ringkasan tabel perbandingan dari beberapa jenis pengomposan yang berpotensi digunakan untuk mengolah sampah perkotaan:

Tabel 2. 1 Jenis Pengomposan yang Umum digunakan Pengolahan Sampah Kota

Teknik	Kapasitas	Kelebihan	Kekurangan	Sumber
Widrow	>5 Ton/Hari	Murah dan sederhana	Perlu lahan luas	(World Bank, 2018), (Damanhuri,2010)
Aerated Static Pile	>10 Ton/Hari	Cepat, murah dan sederhana	Perlu kontrol udara	(US EPA,2020), (Wibowo, 2021)
In-vessel	<10 Ton/Hari	Kontrol penuh, cepat	Mahal karena membutuhkan listrik	(KLH, 2021), (Rachmawati, 2020)
Vermicomposting	>2 Ton/Hari	Berkualitas tinggi	Lambat dan sensitif	(Isroi, <i>et al.</i> ,2021) (Setiawan, 2018)

Pada perencanaan kali ini metode pengomposan yang digunakan adalah metode bata berongga yang merupakan metode pengomposan sampah organik pada box bata yang disusun secara zig-zag dengan volume tertentu, metode ini merupakan salah satu jenis dari ASP (*Aerated Static Pile*) memiliki kelebihan yaitu menggunakan waktu yang lebih sedikit karena udara tercukupi dan membutuhkan ruang yang lebih sedikit, mudah untuk mengontrol air lindi dan membutuhkan tenaga yang tidak banyak (KLHK, 2021).

Alasan pemilihan Biokonversi menggunakan BSF, Anaerobic Digestion, dan Pengomposan sebagai opsi pengolahan sampah organik Kota Yogyakarta dari beberapa opsi lainnya adalah eksistensi dominasi sampah berjenis organik yang apabila tidak dikelola dengan cepat maka akan menimbulkan masalah baru seperti penyebaran penyakit dan menjadi peminbul bau, selanjutnya, alasan memilih Biokonversi Larva BSF adalah karena BSF dapat mereduksi sampah dengan cepat dan efisien, BSF dapat mereduksi sampah lebih organik dari 70% (Yuwono *et al.*, 2021), larva BSF memiliki nilai ekonomis yang dapat mensubstitusi pakan ternak karena mengandung tinggi protein dan pada prosesnya dapat menghasilkan 2 jenis pupuk (Sri *et al.*, 2024).

Dalam beberapa aplikasinya, LCA menunjukkan bahwa BSF memiliki kontribusi terkecil terhadap pemanasan global dibanding opsi bioteknologi lainnya (Zulfikar&Rayhandi, 2024). Pemilihan *Aerobic Digestion* karena dapat memproduksi energi terbarukan (gas) dan menekan timbulan metana (Springer, 2023), dapat digunakan dalam skala besar dan meningkatkan output energi dan penggunaannya ideal dilaksanakan secara hibrid (Nafiah *et al.*, 2024). Pemilihan Pengomposan adalah karena Pengomposan merupakan teknologi sederhana yang sudah umum digunakan dan cocok untuk diterapkan pada beberapa skala pengolahan (Ika *et al.*, 2023), pengoperasionalannya yang sederhana dan biaya operasional yang rendah dan potensi penerimaan oleh masyarakat yang tinggi.

Dengan demikian ketiga metode dipilih berdasarkan keunggulannya dan disesuaikan dengan kondisi dan strategi pengolahan skala kota Yogyakarta, diharapkan dapat menjadi solusi yang efektif dalam permasalahan sampah kota.

2.4.1 Faktor Pendukung Pengolahan Sampah

Penggunaan bioteknologi berkaitan dengan jumlah, komposisi, karakter sampah, dan kondisi iklim, dalam pelaksanaannya ada beberapa faktor yang mempengaruhi dan menjadi faktor pendukung dalam pengoprasian bioteknologi.

Berikut merupakan beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam pengoprasian bioteknologi pengolahan sampah organik:

Tabel 2. 2 Faktor Pendukung Pengolahan Sampah dari Beberapa Metode

Faktor	BSF	AD	Pengomposan
Jenis sampah	Sampah Organik segar	Sampah organik campuran	Sampah organik campuran
Kelembaban	60-70%	80-90%	50-60%
Suhu Ideal	27-30°C	35-55°C	30-50°C
pH ideal	6-8	6,5-7,5	6,5-8
Rasio C/N	18-21:1 (medium-N rich)	20-30:1 (Nitrogen stabil)	25-30:1 (ideal untuk dekomposer aerob)
Mikroba	Tidak butuh	Mikroorganisme anaerob	Mikroorganisme aerob

(KLHK, 2021), (BIRU Project, 2020), (LIPI, 2020), (Isroi, 2021), (Purnomo *et al.*, 2019)

2.4.2 Kompleksitas Proses

Kompleksitas proses dari penggunaan bioteknologi menjadi salah satu kriteria dalam penilaian bioteknologi mana yang cocok untuk digunakan dalam mengolah sampah organik Kota Yogyakarta, kompleksitas pengolahan atau kompleksitas proses dinilai dari tahapan yang dibutuhkan dalam pengolahan masing-masing bioteknologi:

1. Biokonversi dengan larva BSF

Black Soldier Fly bukan serangga yang bersifat hama dan merupakan jenis lalat yang memiliki risiko penyebaran penyakit yang lebih rendah dibanding jenis lalat lainnya.



Gambar 2. 5 Siklus Hidup Larva Maggot (Tim RINDU UGM, 2021)

Larva BSF melewati 5 fase masa hidup dalam kurun waktu 30-35 hari, yaitu fase telur, Fase Larva, fase pre-pupa, fase pupa, dan BSF dewasa popa & Green, 2012), tergantung pada kondisi lingkungan dan asupan makanannya (Alvarez, 2012). Berikut merupakan fase kehidupan bagi larva BSF:

- A. **Fase telur**, Lalat betina dapat menghasilkan 300-500 butir telur dalam satu kali proses bertelur, lalat betina akan meletakkan telurnya di tempat yang minim cahaya dan dekat dengan sumber pakan, telur BSF berbentuk oval dengan warna kekuningan dan berukuran kurang dari 1 mm, berat 1-2 mg.



Gambar 2. 6 Fase telur larva BSF (Tim RINDU UGM, 2021)

Telur BSF akan menetas dengan waktu yang tepat pada suhu 28-35 derajat Celcius, Apabila lebih dari suhu tersebut penetasan akan terjadi lebih lama, untuk menjaga suhu dapat dilakukan penyemprotan air secara perlahan setiap 3 hari sekali

- B. **Fase larva**, setelah telur lalat menetas maka akan keluar larva kecil berukuran 1,8 mm, pada fase Larva muncullah sifat fotophobia di mana larva akan cenderung mencari tempat yang minim cahaya berbeda dengan lalat dewasa yang membutuhkan cahaya untuk kegiatan perkawinan,



Gambar 2. 7 Fase Larva BSF (Tim RINDU UGM, 2021)

Sifat fotophobia tersebut terlihat ketika lalat sedang makan di mana mereka akan lebih aktif dalam beraktivitas di lokasi yang memiliki cahaya sedikit, fase larva akan berlangsung dari telur menetas sampai umur 14 sampai 21 hari tergantung nutrisi yang diberikan dan kebutuhan pemanenan, pada fase ini larva dapat langsung digunakan sebagai alternatif pakan ternak atau dapat diolah lebih lanjut.

- C. **Fase prepupa**, pada fase ini Larva mengalami perubahan warna dari yang sebelumnya berwarna krem menjadi warna coklat kehitaman.



Gambar 2. 8 Fase Prepupa BSF (Tim RINDU UGM, 2021)

Larva maggot akan mengurangi intensitas pakannya dan berfokus pada pembentukan pupa, dan juga maggot akan bermigrasi ke tempat yang lebih kering dan minim cahaya untuk kemudian masuk ke fase pupa ditempat yang baru.

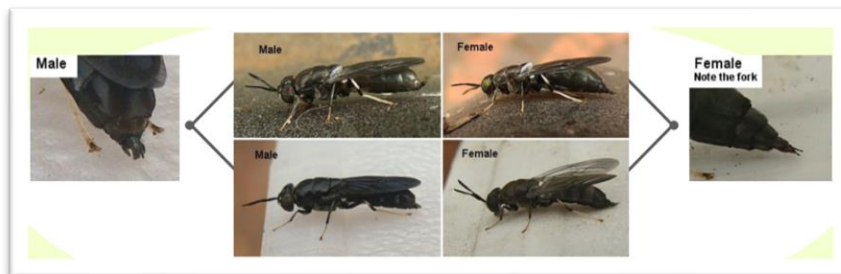
- D. **Fase pupa**, larva maggot akan berganti kulit 5-6 kali, dan setelah itu larva akan memiliki kulit yang lebih keras daripada kulit yang sebelumnya, kulit tersebut disebut ovarium di mana larva akan memasuki fase yang bernama fase pupa, pada fase ini larva akan bermigrasi untuk mencari tempat yang kering dan tidak terpapar cahaya secara langsung,



Gambar 2. 9 Fase Pupa BSF (Tim RINDU UGM, 2021)

Pada fase berupa Larva maggot tidak akan mengonsumsi makanan lagi, dan bentuknya akan berubah menjadi warna hitam kecoklatan, pada fase ini lalat akan bermetamorfosis menjadi BSF dewasa dalam waktu 7-10 hari

E. **Lalat dewasa**, lalat yang sudah keluar dari fase pupa akan masuk ke dalam fase lalat dewasa di mana ukuran tubuh BSF dewasa antara 12-20 mm dengan rentang sayap selebar 8-14 mm, Larva dewasa berwarna hitam dengan kaki berwarna putih di bagian bawah di kepala memiliki antena dengan panjang dua kali panjang kepalanya, tidak ada perbedaan yang signifikan antara lalat jantan dan lalat betina, namun ukuran alat betina sedikit lebih besar daripada lalat jantan.



Gambar 2. 10 BSF Dewasa Jantan dan Betina (Tim RINDU UGM, 2021)

BSF dewasa memiliki umur berkisar antara 4-8 hari dan tidak membutuhkan makanan lagi, untuk merecovery tenaganya mereka hanya minum dari air bersih atau air embun, lalat dewasa berperan hanya untuk reproduksi, lalat jantan akan mati setelah melakukan proses perkawinan, dan lalat betina akan mati setelah melakukan proses bertelur.

Dari penjelasan beberapa fase hidup Larva maggot dapat dilihat bahwa proses pemanfaatan Larva maggot sebagai bioteknologi pengolahan sampah pada dasarnya tidak memiliki atau tidak memerlukan teknologi tambahan apapun untuk kebutuhan energi pada prosesnya, maka dari itu pengolahan sampah menggunakan larva BSF dapat digolongkan sebagai pengolahan sederhana, dengan catatan pemberian pakan yang cukup dan kualitas iklim yang terjaga maka akan dapat menghasilkan beberapa produk yang optimal.

2. *Anaerobic Digestion*

Pada pengolahan sampah organik menggunakan *Anaerobic Digestion* atau pembentukan biogas, proses pengolahan dilakukan dengan kegiatan berikut:

- A. Penyiapan bahan baku, bahan baku berupa sampah organik sebaiknya dicacah agar volume dari sampah tersebut bisa berkurang dan melancarkan sirkulasi pembentukan biogas.
- B. Pemasukan bahan baku, sampah yang telah dicacah kemudian dimasukkan ke digester dan kemudian dibiarkan untuk memproduksi gas metana setelah terjadi proses anaerobik secara alamiah.
- C. Pengadukan, pada proses pengadukan ditunjukkan untuk mencampur bahan baku pembuatan biogas sampai terhomogenkan, pengadukan dilakukan untuk mencegah terjadinya pengendapan udara atau gas di dasar digester yang dapat menghambat pembentukan biogas.
- D. Pemantauan dan pemeliharaan, pada kegiatan produksi biogas secara besar memerlukan pemantauan dan pemeliharaan sebagai berikut, kontrol jumlah sampah dan variasinya dengan air, pemeriksaan pembentukan gas setiap hari, pemeriksaan kandungan metan, pemeriksaan kebocoran, pembersihan overflow, pemeliharaan timbunan tanah, pembersihan dan pelumasan katup utama, pembersihan atau pengurasan air dan lubang, penggantian selang gas secara berkala.

Dari beberapa tahap yang tertera di atas dapat dilihat bahwa pengolahan sampah organik menggunakan *Anaerobic Digestion* membutuhkan perlakuan dan pemantauan dengan kompleks, hal ini disebabkan karena terdapat beberapa faktor yang harus diperhatikan agar pembentukan biogas dapat terbentuk secara maksimal dan tidak terjadi kegagalan, biogas yang baik adalah memilih biogas yang memiliki kandungan metan sebesar 50-70% dan untuk menghasilkan gas metan pada rentan tersebut harus selalu diperhatikan agar tidak ada kontaminan dan masuknya oksigen ke dalam tabung digester (Wahyuni, 2011), waktu ideal untuk detensi agar dapat terjadi *Anaerobic Digestion* adalah 15-30 hari (Ricci & Confalonieri, 2016)

3. Pengomposan

Proses pengomposan dapat dilakukan dengan beberapa tahapan proses berikut:

- A. Pengolahan awal atau pre-treatment di mana proses ini dilakukan pemilahan sampah organik yang layak untuk di kompos, Setelah dipilah sampah organik sebaiknya dicacah dengan ukuran 3-5 cm dan dilakukan penumpukan satu layer per hari dengan tinggi 20 cm.
- B. Proses pengomposan, Pada proses pengomposan akan dihasilkan kompos dengan kondisi setengah matang, proses pengomposan dipengaruhi oleh waktu dan kondisi, proses pengomposan dapat dilakukan dengan cara tradisional, di mana sampai yang sudah dilakukan pencacahan dan dilakukan pengomposan akan diaduk secara periodik dengan penambahan beberapa nutrisi, mikroorganismenya, atau enzim yang sesuai, pada proses ini biasanya dilakukan dalam kurun waktu 25-30 hari.
- C. Proses pematangan kompos, pada proses ini kompos yang sudah jadi akan dibiarkan dalam udara terbuka dalam kurun waktu tertentu, proses pematangan kompos biasanya dilakukan kurang lebih dalam waktu 2 minggu.

Dari penjelasan proses pengomposan, proses pengomposan pada dasarnya tidak memerlukan teknologi dan perlakuan khusus, proses pengolahan sampah organik menggunakan teknik pengomposan dapat tergolong sebagai proses yang sederhana, karena hanya harus memperhatikan kontrol dari ukuran sampah yang dimasukkan dan monitoring

2.4.3 Pengambilan Keputusan dan Metode *Grid Analysis*

Pengambilan keputusan adalah suatu tindakan yang dilakukan untuk menentukan tindakan yang akan dilakukan dalam memberikan pemecahan masalah dengan memilih suatu alternatif dari beberapa opsi alternatif yang disediakan dengan berbagai pertimbangan negatif dan positifnya yang sesuai dengan kriteria yang dibutuhkan, pengambilan keputusan berperan penting dalam manajemen karena akan berorientasi terhadap tujuan yang menjadi keperluan bersama (Supranto, 2010)(Irham, 2011).

Analisis Jaringan atau *Grid analysis* merupakan teknik yang berguna untuk menentukan pilihan suatu alternatif solusi. Metode ini membantu dalam mengevaluasi opsi secara sistematis dengan penetapan serta pertimbangan bobot dan nilai dari setiap

kriteria, sehingga akan menghasilkan suatu keputusan yang rasional dan objektif. Penggunaannya sangat efektif ketika kita dihadapkan pada beberapa alternatif menarik dan banyak faktor yang perlu dipertimbangkan ketika mengambil keputusan. bahwa teknik analisis ini membantu kita menentukan keputusan atas sejumlah pilihan yang menghadapi sejumlah faktor berbeda (Prasetyawan, 2020)(Navi, 2019).

2.5 Studi-Studi Terdahulu

Berikut merupakan penelitian terdahulu yang sudah dilakukan terkait dengan studi kelayakan pengolahan sampah organik menggunakan beberapa metode bioteknologi yang dapat digunakan sebagai referensi pengembangan yang dapat dilakukan.

Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	S. Diener, dkk (2015)	Peluang dan kendala untuk pengolahan limbah organik skala menengah dengan pengomposan larva lalat	Penelitian yang mengeksplorasi peluang dan tantangan dalam pengomposan limbah menggunakan larva BSF dalam skala menengah, menjelaskan bagaimana proses bisa mengubah limbah menjadi sumber protein bagi hewan ternak
2	Kwame Anokye, dkk (2024)	Masa depan pengelolaan limbah di Ghana: studi kelayakan dan skalabilitas	Menunjukkan bagaimana teknologi cerdas dapat mengubah praktik lapangan pembuangan dan pengolahan sampah namun tetap dihadapkan dalam beberapa tantangan
3	Sumaya YH Abbas (2022)	Feasibility of <i>Anaerobic Digestion</i> as an Option for Managing Sludge and Biodegradable Waste in the Kingdom of Bahrain	Studi kelayakan penggunaan <i>Anaerobic Digestion</i> dalam pengelolaan sampah yang dapat terurai secara hayati, menggunakan analisis biaya-manfaat dan memberikan keunggulan dan kelemahan teknologi ini

No	Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
4	Cemil Koyonuglu (2024)	Produksi biofuel dengan memanfaatkan lalat tentara hitam (<i>Hermetia illucens</i>): pendekatan berkelanjutan untuk pengelolaan limbah organik	Setiap 1 ton limbah organik dapat menghasilkan 200L biodiesel, hasil yang menunjukkan bahwa BSF mengandung banyak lemak tinggi yang dapat diubah menjadi energi, proses dapat mengurangi gas rumah kaca secara signifikan dan memberikan pengelolaan limbah organik yang hemat dan berkelanjutan
5	Haudi hasaya,dkk(2024)	Perbandingan kompos produk pemanfaatan limbah maggot Black Soldier Fly (BSF) dengan kompos sampah organik	Memberikan solusi tentang bagaimana mengurangi volume sampah organik yang masuk ke TPA, menggunakan metode pengomposan tradisional dan menggunakan larva maggot, hasil menunjukkan kualitas kompos sudah memenuhi standar namun memiliki sedikit perbedaan dalam pengurangan sampah.

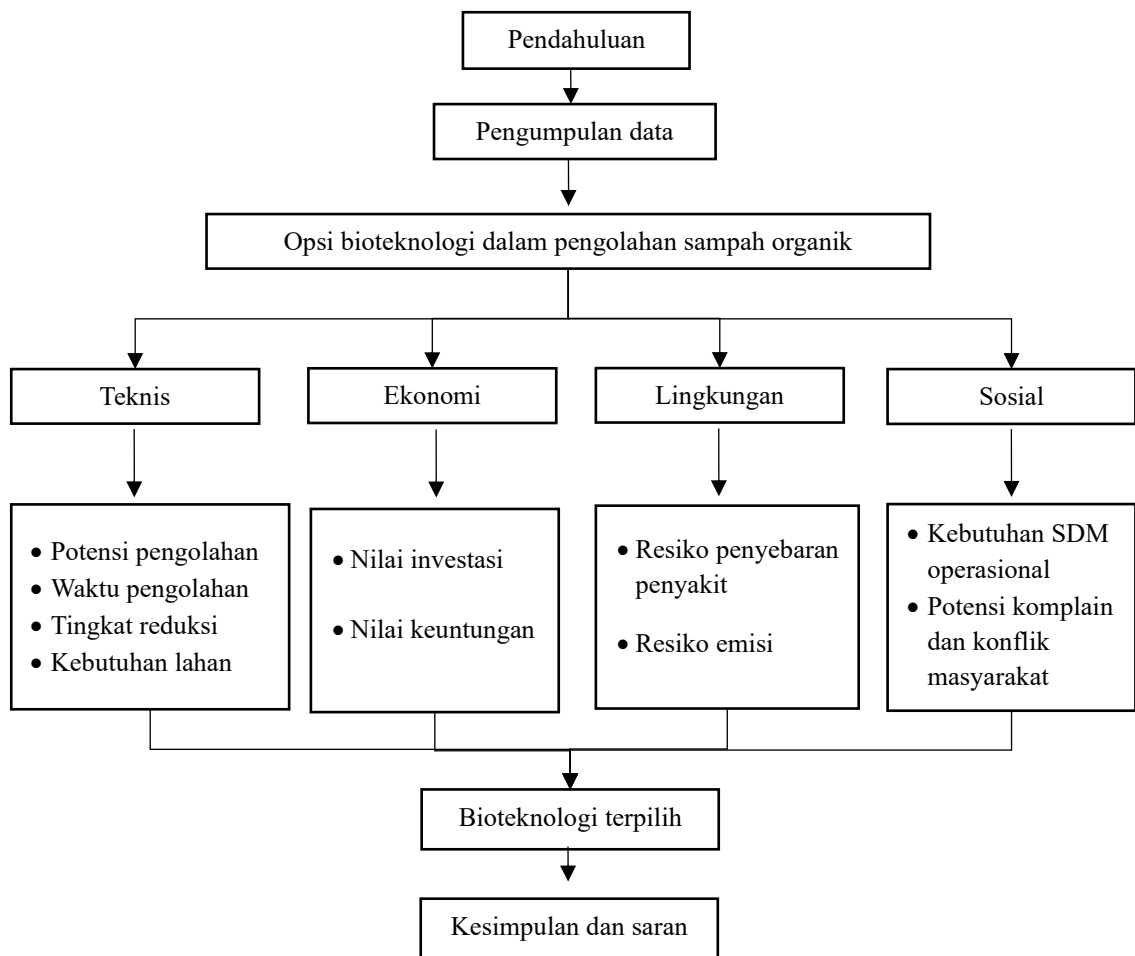
Dari beberapa penelitian diatas. Dapat dilihat bahwa bioteknologi berpotensi memberikan solusi terkait pengolahan sampah organik yang menjadi masalah cukup serius yang sedang dihadapi masyarakat, dari hal tersebut, dilakukan penelitian studi kelayakan terkait beberapa opsi bioteknologi kali ini dapat memberikan gambaran dalam sistem pengolahan sampah untuk menekan volume timbulan sampah, terutama terhadap sampah organik Kota Yogyakarta, dengan begitu diharapkan pengolahan sampah organik dapat terlaksana dengan baik dan memberikan dampak yang positif bagi lingkungan dan masyarakat.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Beberapa tahap yang akan dilakukan bertujuan untuk memperjelas rencana pekerjaan yang akan dilakukan dan mempermudah dalam pembahasan konsep yang tersedia, sebagai gambaran alur penelitian di buatlah diagram alir penelitian sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2 Subjek dan Objek Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian, ditetapkan subjek dan objek pada perencanaan kali ini, antara lain yaitu:

3.2.1 Subjek Penelitian

Dalam penelitian ini, pemilihan bioteknologi berkaitan erat dengan peran mikroorganisme seperti virus, bakteri, jamur, alga, dan protozoa. Mikroorganisme dipilih karena potensial, mudah diperoleh, stabil, dan mampu menghasilkan produk bermanfaat. Selain itu, biokonversi menggunakan *Black Soldier Fly (Hermetia illucens)*, atau lalat tentara hitam, juga menjadi fokus pembahasan dalam penelitian ini.

3.2.2 Objek Penelitian

Objek penelitian yang akan dilakukan adalah ketiga opsi bioteknologi yang dapat digunakan untuk membantu mengatasi permasalahan sampah Kota Yogyakarta, antara lain adalah *Anaerobic Digestion*, pengomposan dan biokonversi menggunakan larva *Black Soldier Fly*.

3.3 Metode pengumpulan data

Dalam mengumpulkan data penelitian kali ini, ditentukan jenis dan sumber data sebagai berikut:

3.3.1 Jenis Penelitian

Menggunakan jenis penelitian kualitatif deskriptif dengan tujuan untuk memberikan pemahaman mendalam tentang suatu fenomena dan menjelaskan kompleksitas suatu pemecahan masalah yang terjadi di lingkungan, mendalami isu pengolahan sampah yang sedang hangat di wilayah Kota Yogyakarta.

3.3.2 Sumber data

Sumber data pada perencanaan ini ada dari beberapa sumber, antara lain:

1. Literatur atau dokumen terkait: Mengumpulkan data dari buku, artikel ilmiah, laporan penelitian, dan dokumen pemerintah tentang pengolahan sampah organik dan pemanfaatan maggot, melalui pencarian sistematis di database online, perpustakaan, dan sumber relevan lainnya..

2. Data statistik: Menggunakan data dari instansi terkait (DLH, BPS, lembaga penelitian, *masterplan*, dll) tentang jumlah dan komposisi sampah serta efektivitas metode pengolahan sebelumnya, lalu menganalisisnya untuk melihat tren, tantangan, dan potensi penerapan di Kota Yogyakarta., dalam pengumpulan data, berikut merupakan sumber data yang digunakan:

Tabel 3. 1 Jenis data dan sumbernya

Jenis data	Sumber
Peta Kota Yogyakarta	Peta Wilayah Kerja Statistik SPS Kota Yogyakarta
Data penduduk Kota Yogyakarta	Badan Pusat Statistik Yogyakarta
Sarana pengolahan sampah eksisting	Dinas Lingkungan Hidup Yogyakarta
Proyeksi timbulan sampah	Hasil Perhitungan

3.4 Teknik Analisis Data

Analisis deskriptif dengan menguraikan hasil dari berbagai sumber dan sajikan data dalam bentuk tabel, grafik, atau narasi untuk menunjukkan kemungkinan dan tantangan dalam mengolah sampah organik dengan opsi pengolahan yang diberikan.

3.4.1 Penentuan Area Layanan

Penentuan diawali dengan mencari terlebih dahulu data pendukung seperti Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW), ruang lingkup pelayanan berdasarkan wilayah Kota Yogyakarta seluas 32,5Km² dengan total 14 kecamatan, setelah penentuan area pelayanan ditentukan pula zona prioritas pelayanan.

3.4.2 Proyeksi Penduduk

Proyeksi penduduk dibagi menjadi dua jenis, proyeksi maju dan proyeksi mundur, pada proyeksi mundur, proyeksi penduduk diperlukan untuk keperluan perencanaan dan evaluasi pengolahan sampah. Produksi sampah yang terus meningkat sesuai dengan pertumbuhan penduduk, proyeksi mendur penduduk dapat dilakukan dengan 3 metode perhitungan, metode *Aritmatik*, metode *Geometrik*, dan *Least Square*.

Pada proyeksi maju, setelah perhitungan menggunakan ketiga metode tersebut dilakukan dan telah diketahui standar deviasinya, kemudian dicari standar deviasi paling kecil yang mana metode tersebut yang akan digunakan. Proyeksi maju yang dilakukan pada perencanaan kali ini adalah selama 10 tahun atau sesuai dengan kebutuhan perencanaan.

3.4.3 Proyeksi Timbulan Sampah

Pertumbuhan penduduk selalu akan berbanding lurus dengan angka timbulan sampah, sesuai dengan SNI 19-3964-1995, perhitungan timbulan sampah dapat diketahui menggunakan rumus berikut:

Tabel 3. 2 Tabel Proyeksi Timbulan Sampah

No	Sumber sampah	satuan	valume	Berat (Kg)
1	Rumah permanen	/org/hari	2,25-2,5	0,35-0,4
2	R.semi permanen	/org/hari	2-2,25	0,3-0,35
3	R. non permanen	/org/hari	1,75-2	0,25-0,3
4	Kantor	/pegawai/hari/	0,5-0,75	0,25-0,1
5	Toko/Ruko	/karyawan/hari/	2,5-3,0	0,15-0,35
6	Sekolah	/m/hari/	0,1-0,15	0,02-0,1
7	Jalan	/m/hari/	0,1-0,45	0,01-0,5
8	Pasar	/m ² /hari/	0,2-0,6	0,1-0,3

(SNI 19-3964-1995)

Dengan proyeksi tersebut, dapat dihasilkan proyeksi timbulan sampah setiap daerah yang akan disajikan dalam bentuk tabel, maka akan diketahui timbulan sampah pemukiman dan non-pemukiman dalam skala tahunan dan persentase peningkatannya dalam setiap tahun.

3.4.4 Kajian Penerapan Bioteknologi

Kajian ini menganalisis penerapan bioteknologi pengolahan sampah organik melalui tiga metode: *Anaerobic digestion*, Pengomposan, dan Biokonversi dengan larva BSF, dengan fokus pada bahan baku, hasil, dan faktor pendukung. Pengelolaan diarahkan pada fasilitas pemrosesan akhir dari 14 kecamatan Kota Yogyakarta.

Pemilihan Pemrosesan pada tingkat akhir dikarenakan beberapa faktor berikut: Rendahnya tingkat pemilahan dan pengolahan di hulu, masih banyak masyarakat yang mencampur sampahnya (DLH Yogyakarta, 2023). Konsistensi kualitas dan volume sampah di hilir lebih seragam dan terjamin karena pada pengolahan skala kota dibutuhkan *supply* dengan jumlah yang stabil (Meidiana, 2021), Pemrosesan di akhir memungkinkan biaya operasional yang lebih rendah dan manajemen lebih terpusat. Pemrosesan akhir memiliki keunggulan dalam penanganan terpusat, pengurangan dampak lingkungan, dan produksi skala besar bernilai ekonomis. Namun, dibutuhkan

investasi teknologi dan infrastruktur yang besar, serta koordinasi antar pemangku kepentingan, dengan memanfaatkan pemrosesan akhir, Kota Yogyakarta berpeluang memperkuat sistem pengolahan sampah organik yang berkelanjutan dengan mempertimbangkan ketersediaan lahan pengolahan mengingat lahan Kota Yogyakarta yang terbatas.

3.4.5 Studi Kelayakan Pemilihan Bioteknologi

Merupakan kajian pemilihan Bioteknologi yang ditinjau dan analisa dari beberapa aspek berikut:

1. Kelayakan Teknis

Komponen studi kelayakan teknis pembangunan setidaknya meliputi parameter luas, umur operasional, lokasi, sarana dan prasarana, kompleksitas operasional, sumber daya manusia, kelayakan teknis berdasarkan kajian timbulan dan karakteristik sampah, kajian teknologi dan sumber daya eksisting, keterjangkauan operasional, dan kajian fisik eksisting wilayah.

Isi dari aspek kelayakan teknis antara lain:

A. Potensi pengolahan sampah

Potensi pengolahan sampah dapat dicari menggunakan cara, dilakukan pencarian nilai beban pengolahan sampah yang akan dilakukan dengan rumus berikut:

$$\text{Beban pengolahan} = \text{Jumlah sampah} \times \text{komposisi sampah (\%)}$$

Setelah diketahui beban pengolahan, dapat dicari nilai potensi pengolahan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Potensi pengolahan} = \text{Beban pengolahan} \times \text{Potensi daur ulang}$$

B. Kapasitas Pengolahan dan Waktu Proses

Analisis ini yang akan menjadi dasar pada penerapan alternatif pengolahan, penilaian akan memperhatikan kondisi eksisting pengolahan sampah di Kota Yogyakarta, estimasi kebutuhan waktu yang dibutuhkan dalam satu siklus pengolahan.

C. Tingkat Reduksi Sampah

Pada sub-bab ini akan menjelaskan tentang bagaimana bioteknologi dapat mereduksi sampah organik yang diterima, berkaitan dengan jumlah sampah dan proyeksi dalam tahun yang ditentukan, merupakan proporsi pengurangan jumlah sampah yang telah melewati proses reduksi dengan pilihan metode yang akan digunakan.

a. Biokonversi Menggunakan Larva BSF

Kapasitas Pengolahan adalah persentase sampah dari jumlah potensi sampah organik yang dapat diolah. Menurut Sastro (2016) dan Kusumawati (2020) berikut merupakan standar *output* yang diperoleh dalam penggunaan BSF:

Tabel 3. 3 Proyeksi *output* Pengolahan

Jenis	Jumlah
Konversi menjadi larva tinggi protein	30-40%
Pupuk organik	60-70%
Pupuk cair organik	1,5L dari 10kg sampah

(Sastro, 2016) dan (Kusumawati, 2020)

1) Potensi Pupuk Organik Padat

Berikut merupakan cara untuk menghitung potensi produksi pupuk padat:

Kapasitas Pengolahan = Waktu Proses x Pasokan Sampah

Potensi Pupuk Organik = % tingkat pengolahan x kapasitas

Pada Permen PU No. 03/PRT/M/2013 terlampir jumlah reduksi sampah yang dapat dihasilkan dalam proses pengolahan sampah organik dengan metode pengomposan berkisar antara 40-60%.

Jumlah Pupuk yang Dihasilkan = % penyusutan kompos x total pupuk

2) Potensi Larva sebagai Pakan Ternak

Potensi Pakan Ternak = % pengolahan x kapasitas pengolahan

3) Potensi Pupuk Organik Cair

$$\begin{aligned}\text{Volume Lindi} &= \text{Standar Konversi} \times \text{kapasitas pengolahan} \\ &= (1.5\text{L}/10 \text{ kg sampah}) \times \dots \text{ ton}\end{aligned}$$

Pupuk organik cair yang telah jadi akan diikuti dengan penyusutan volume pupuk organik cair yang dapat mencapai hingga setengah dari volume awal (Rajiman, 2020).

$$\text{Jumlah Pupuk yang dihasilkan} = \% \text{ Penyusutan} \times \text{total pupuk cair}$$

b. *Anaerobic Digestion*

Tingkat Reduksi menggunakan teknologi AD dapat dilakukan menggunakan pendekatan nilai Total Solid content (TS), Nilai TS sampah organik perkotaan adalah 20% dan dapat menghasilkan 0,5m³/kg (Yuniar, 2017). Kapasitas Pengolahan adalah ...% dari jumlah potensi sampah organik yang dapat diolah atau sebesar ton, atau dalam satuan kg sebesar kg

$$\text{Total nilai TS} = \% \text{TS} \times \text{jumlah bahan baku}$$

$$\text{Gas yang dihasilkan per hari} = \text{Total nilai TS (kg)} \times \text{produksi gas yang dihasilkan (m}^3\text{)}$$

c. Pengomposan

Untuk mengestimasi tingkat reduksi sampah organik dapat dilakukan menggunakan cara berikut. Kapasitas pengolahan sebesar% dari total potensi sampah organik yang dapat diolah atau sebesar ... ton dengan waktu proses pengomposan 30 hari.

$$\text{Kapasitas Pengolahan} = \text{Waktu Proses} \times \text{Pasokan Sampah}$$

Untuk hasil yang lebih optimal, sebaiknya sampah dicacah terlebih dahulu sebelum memasuki proses pengomposan, Permen PU No. 03/PRT/M/2013 menyatakan bahwa proses pencacahan dapat meningkatkan reduksi sampah sampai 3x lipat, maka:

$$\text{Volume setelah dicacah} = \text{Volume yang akan dicacah}/3$$

Setelah dilakukan pencacahan, sampah akan dimasukkan ke reaktor bata berongga untuk dilakukan proses pengomposan, Permen PU No.

03/PRT/M/2013 menyatakan bahwa reduksi sampah yang dapat dihasilkan dalam proses pengolahan sampah secara biologis mencapai kisaran 40-60%.

$$\text{Jumlah Pupuk yang Dihasilkan} = \% \text{Penyusutan kompos} \times \text{total kompos}$$

D. Estimasi Kebutuhan Lahan

Berikut merupakan estimasi kebutuhan lahan yang akan digunakan dalam pengaplikasian pengolahan sampah menggunakan beberapa opsi pengolahan:

a. Biokonversi Larva BSF

kebutuhan lahan menggunakan alternatif biokonversi dengan larva BSF akan memperhitungkan kebutuhan lahan sebagai berikut:

1) Area Bioreaktor BSF

Area bioreaktor merupakan area pembesaran Larva di mana larva akan diberi makan sampah organik dalam kurun waktu yang ditentukan, ukuran reaktor yang direncanakan adalah 5 m x 1,2 m x 2,5 m dengan kondisi konstruksi bertingkat tiga, dari ukuran reaktor tersebut dapat mengolah 2 ton sampah per hari (DLH Sumatera Barat, 2022), diantara reaktor diberi jarak 1m untuk mobilisasi para pekerja dalam mendistribusikan makanan ke reaktor Larva BSF, Berikut merupakan perhitungan kebutuhan bioreaktor dari 3 skenario yang ditentukan, perhitungan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kebutuhan Lahan} = \text{Jumlah unit} \times \text{kebutuhan lahan 1 unit}$$

$$\text{Kapasitas Pengolahan (1 siklus)} = \text{Waktu Proses} \times \text{Jumlah Sampah}$$

$$\text{Kebutuhan Unit} = (\text{Jumlah sampah} / \text{Kapasitas Unit})$$

$$\text{Kebutuhan lahan} = \dots \text{ unit} \times \dots \text{ m}^2 \times 3 \text{ tingkat}$$

2) Area Perkawinan (*Rearing House*)

Area yang harus disiapkan selanjutnya adalah rearing house atau area perkawinan bagi alat dewasa, area ini merupakan area pembiakan Larva BSF untuk menghasilkan telur larva yang baru pada siklus selanjutnya,

buku panduan proses pengolahan sampah organik dengan *Black soldier Fly* yang ditulis oleh Dormant pada tahun 2017 menjelaskan bahwa kebutuhan lahan area perkawinan untuk memproses 2 ton sampah per hari adalah 15m², dengan standar berikut dapat dihitung kebutuhan lahan untuk rearing house adalah sebagai berikut:

$$\text{Kebutuhan Lahan} = 15 \text{ m}^2/2 \text{ ton} \times \text{Jumlah Sampah yang Diproses}$$

Kapasitas Pengolahan adalah ...% dari potensi sampah yang dapat diolah, atau sebesar ton/hari,

$$\text{Kebutuhan lahan} = \dots \text{ m}^2/2 \text{ ton} \times \dots \text{ ton}$$

3) Area Penetasan (*Hatchery*)

Selanjutnya yang harus disiapkan adalah area penetasan telur, area ini merupakan area untuk pembiakan Larva muda dan telur Larva, area yang disiapkan harus terhindar dari sinar matahari langsung, bahwa kebutuhan area penetasan untuk memproses 2 ton sampah organik per hari adalah 8 m² (Dormant,2017), berdasarkan standar berikut dapat dihitung kebutuhan lahan penetasan telur dalam proses siklus Larva Black Folder Fly adalah sebagai berikut:

$$\text{Kebutuhan Lahan} = 8 \text{ m}^2/2 \text{ ton} \times \text{Jumlah Sampah yang Diproses}$$

Kapasitas Pengolahan adalah berapa persen dari potensi sampah yang dapat diolah, atau sebesar ton/hari,

$$\text{Kebutuhan lahan} = \dots \text{ m}^2/2 \text{ ton} \times \dots \text{ ton}$$

4) Area Pengeringan Kompos

Selanjutnya area yang harus disiapkan adalah area pengirisan kompos yaitu sebagai tempat untuk pematangan kompos yang dihasilkan dari proses biokonversi, dalam perencanaan kali ini direncanakan ketinggian pupuk kompos adalah 60 cm, lahan area pengeringan kompos

mempertimbangkan potensi pengolahan pupuk kompos yang dihasilkan. Berikut merupakan persamaan untuk mendapatkan luas kebutuhan lahan pengeringan kompos:

$$V = p \times l \times t$$

V = Volume kompos yang akan dikeringkan

p = panjang lahan

l = lebar lahan

t = tinggi tumpukan

Pupuk padat yang dihasilkan ± m³/hari. Pupuk padat memerlukan waktu pematangan selama 14 hari

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Pengolahan} &= \text{Waktu proses} \times \text{Jumlah sampah} \\ &= 14 \text{ hari} \times \dots \text{ m}^3/\text{hari} \\ &= \dots \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan lahan area} &\dots \text{ m}^3 = p \times l \times 0,6 \\ \text{pengeringan adalah} &p \times l = \dots \text{ m}^2 \end{aligned}$$

5) Bak Aerasi

Selanjutnya adalah bak aerasi, *leachate* yang dihasilkan dalam proses pengolahan sampah akan dikumpulkan dan dialirkan melalui pipa menuju bak aerasi, cairan yang terkumpul akan ditambahkan efektif mikroorganisme kemudian dilakukan proses fermentasi, dalam proses ini kebutuhan bak aerasi yang direncanakan adalah 250 m²

b. *Anaerobic Digestion*

Modul Teknologi WtE berbasis Proses Biologis *Anaerobic Digestion* yang disusun oleh kementerian PUPR pada tahun 2018 menyebutkan bahwa 1 unit *Anaerobic Digestion* dapat mengelola sampah 15 ton, dan satu unit AD

berukuran 4000m³, Kapasitas Pengolahan adalah besaran % dari potensi sampah yang dapat diolah.

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan lahan} &= (\text{Jumlah sampah (ton)/15 ton}) \times 4000 \text{ m}^2 \\ &= \dots \text{ ton/15 ton} \times 4000 \text{ m}^2\end{aligned}$$

c. Pengomposan

Perhitungan kebutuhan lahan penggunaan metode pengomposan bata berongga terhadap sampah organik adalah sebagai berikut:

1) Area Pengomposan

Kebutuhan lahan area pengomposan didasarkan pada kebutuhan unit bata berongga sebagai tempat penumpukkan kompos. Kapasitas pengolahan besaran % dari potensi sampah yang dapat diolah, Sampah yang masuk pada proses pengomposan sudah dicacah dalam ukuran 1 atau 2 cm, ukuran dimensi satu unit bata berongga adalah 5m x 1,2m x 1,2m dengan kapasitas 2 ton/unit, dari kriteria tersebut maka kebutuhan lahan unit area pengomposan menggunakan bata berongga adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas Pengolahan} &= \text{Waktu Proses} \times \text{Jumlah Sampah} \\ \text{Kebutuhan Unit} &= (\text{Jumlah sampah/Kapasitas unit})\end{aligned}$$

Kebutuhan lahan dalam satu unit pengomposan bata berongga adalah 13m² setelah dibulatkan setiap sisi untuk mobilisasi para pekerja maka kebutuhan lahan total untuk area pengomposan adalah:

$$\text{Kebutuhan lahan} = \text{Jumlah unit} \times \text{kebutuhan lahan 1 unit}$$

2) Area Pencacahan

Selanjutnya adalah area pencacahan, dimana area ini digunakan untuk mencacah sampah organik agar menjadi ukuran yang lebih kecil agar mudah diproses, salah satu contoh mesin pencacah yang dapat digunakan adalah tipe am-pc 1500 dengan kapasitas 1500 kg/jam, mesin tersebut berdimensi 180 cm x 90 cm x 150 cm, dan

ditambah dengan area jalan selebar 0,5 m untuk mobilisasi pekerja dan jam kerja maksimal 8 jam sehari, maka kebutuhan area pencacahan adalah sebagai berikut:

$$\text{Kebutuhan Lahan Pencacahan} = \text{Luas mesin pencacah} \times \text{jumlah mesin}$$

3) Area Pematangan Kompos

Selanjutnya adalah area pematangan kompos, di mana pematangan kompos dilakukan selama 14 hari dengan cara menumpuk kompos setengah matang pada area tertentu kemudian dikeringkan dengan cara diangin-anginkan, , direncanakan tinggi tumpukan setinggi 60 cm, maka kebutuhan area pematangan kompos adalah:

$$\begin{aligned} V &= p \times l \times t \\ \dots\dots m^3 &= p \times l \times 0,6 \text{ m} \\ P \times l &= \pm \dots m^2 \end{aligned}$$

4) Area Pengayakan

Proses pengayakan dilakukan untuk menyeragamkan ukuran kompos, pengayakan dilakukan dengan bantuan mesin, salah satu contoh mesin yang dapat digunakan adalah Andaru mscx 1000 dengan kapasitas 500kg/jam, mesin tersebut memiliki dimensi 250 cm x 100 cm x 150 cm, dengan ukuran tersebut maka kebutuhan lahan untuk proses pengayakan dari tiga skenario tersebut adalah sebagai berikut: Kapasitas Pengolahan dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$\text{Kebutuhan Lahan Pengayakan} = \text{Luas mesin pencacah} \times \text{jumlah mesin}$$

2. Kelayakan Finansial

Kriterian dalam aspek finansial dalam studi kelayakan dapat dilakukan dalam berbagai macam metode untuk mencari alur finansial yang dilaksanakan, Dalam analisis kelayakan finansial, digunakan sejumlah asumsi ekonomi sebagai dasar perhitungan, umur proyek ditetapkan selama 10 tahun sebagai periode analisis.

Pendapatan proyek diasumsikan mengalami pertumbuhan rata-rata 5% pertahun, sedangkan tingkat inflasi diproyeksikan sebesar 5% pertahun berdasarkan trend makro ekonomi Indonesia dalam beberapa tahun terakhir, analisis juga menggunakan *cost of capital* sebesar 20% sebagai tingkat diskonto yang merefleksikan risiko proyek, Selain itu pada akhir umur proyek diperhitungkan adanya salvage value sebesar 10% dari nilai investasi awal, yang mencerminkan nilai sisa aset setelah proyek berakhir asumsi ini digunakan untuk menyusun proyeksi arus kas, selanjutnya digunakan untuk menghitung indikator kelayakan finansial seperti *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate Of Return (IRR)*, *Net Benefit Cost Ratio (Net B/C Ratio)*, dan *PayBack Period (PP)*.

Namun sebelum masuk ke perhitungan tersebut, dilakukan estimasi kebutuhan investasi dan perhitungan harga pokok produksi, kemudian dicari alur laba/rugi dari kegiatan yang dilakukan, dari pengestimasian tersebut dapat dilihat opsi pengolahan mana yang lebih berpotensi untuk dilaksanakan.

A. Estimasi Kebutuhan Investasi

Tahap awal untuk mencari nilai kelayakan finansial adalah mencari nilai kebutuhan investasi, dasar kebutuhan investasi awal berdasarkan harga pasar dan asumsi kebutuhan seperti yang disajikan pada tabel berikut:

Tabel 3. 4 Estimasi Kebutuhan Investasi Awal

Kas		Rp...
Kebutuhan Investasi awal		Rp...
Total		Rp...

Selanjutnya adalah kebutuhan investasi aset, dimana ini merupakan kebutuhan yang digunakan untuk kegiatan operasional, dan kebutuhan aset tetap seperti bahan baku, kebutuhan mesin, kebutuhan peralatan, kebutuhan bangunan menggunakan asumsi yang berdasarkan penelusuran harga peralatan di berbagai *platform marketplace* (Tokopedia,Shopee,Bukalapak,dll) pada bulam Juni 2025, kebutuhan aset tetap disajikan dalam tabel seperti berikut:

Tabel 3. 5 Estimasi Kebutuhan Investasi Aset

Keterangan	Jumlah dalam Unit	Harga Per-unit	Kebutuhan Investasi
.....	..	Rp	Rp
.....	..	Rp	Rp
....	..	Rp	Rp
.....	..	Rp	Rp
Total Kebutuhan Investasi Aset Tetap			Rp....

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa estimasi kebutuhan investasi awal aset tetap dalam pendirian pengolahan sampah menggunakan opsi bioteknologi.

B. Harga Pokok Produksi

Penetapan harga bahan baku dan harga harga lainnya yang tercantum adalah berdasarkan penelusuran harga peralatan untuk kebutuhan produksi di berbagai *platform marketplace* (Tokopedia,Shopee,Bukalapak,dll) pada bulam Juni 2025. Estimasi harga pokok disajikan tabel estimasi sebagai berikut:

Tabel 3. 6 Estimasi Harga Pokok Produksi

HPP	Kebutuhan/Hari	Hari	Bulan	Tahun
A	..	Rp..	Rp..	Rp..
B	..	Rp..	Rp..	Rp..
C	..	Rp..	Rp..	Rp..
			Rp..	Rp..
Total HPP	Rp..	Rp..	Rp..	Rp..

Tabel estimasi harga pokok produksi akan menampilkan kebutuhan yang dibutuhkan dalam kegiatan produksi yang disajikan dalam skala harian, bulanan, dan tahunan.

C. Estimasi Laporan Laba/Rugi

Estimasi laporan laba/rugi dalam per tahun dapat dibuat berdasarkan target pengolahan sampah per hari selanjutnya akan disesuaikan dengan penjualan dari hasil produksi. berdasarkan asumsi yang sudah dijelaskan dapat dilihat bahwa estimasi laba/rugi adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 7 Estimasi Laporan Laba/Rugi

Keterangan	Volume	Harga Satuan	Nilai/Tahun
Pendapatan:			
A	.. ton/hari	Rp../kg	Rp..
B	.. ton/hari	Rp../kg	Rp..
C	.. m ³ /hari	Rp../kg	Rp..
Total Pendapatan			Rp..
Harga Per Produksi			Rp..
Laba Kotor			Rp..
Penyusutan			Rp..
Biaya Operasional			Rp..
Pemeliharaan			Rp..
Laba Operasi			Rp..
Pajak 15%			Rp..
Laba Bersih			Rp..

Berdasarkan laporan laba/rugi dapat dilihat bahwa opsi pengolahan menggunakan bioteknologi akan menghasilkan potensi laba yang tergolong rendah, sedang atau tinggi.

a. Net Present Value (NPV)

Adalah cara untuk memperkirakan laba yang akan diraih dari kegiatan operasional usaha, ini merupakan cara untuk mengukur peluang dalam kegiatan investasi, dari tinjauan ilmu ekonomi, metode ini merupakan pelaporan arus kas yang akan datang dikurangi dengan investasi yang dilakukan, berikut merupakan kriteria NPV dapat dikatakan layak atau tidak:

- Npv bernilai positif atau > 0 maka proyek dianggap layak
- Npv bernilai negatif atau $= 0$ maka proyek dianggap tidak layak

Hasil tersebut didapatkan menggunakan rumus:

$$NPV = \frac{CF}{(1 + i)^t} - \text{Investasi awal}$$

b. Internal Rate Of Return (IRR)

IRR merupakan indikator tingkat keefisienan investasi, suatu proyek dapat dilakukan atau dapat dikatakan layak apabila laju pengembalian modal

lebih besar dari laju pengembalian modal investasi ditempat yang lain, analisa kelayakan yang bertujuan untuk mengetahui nilai IRR dan NPV adalah 0, kegiatan investasi dapat dikatakan layak apabila dalam kondisi berikut:

- Jika $IRR > \text{tingkat } discount \text{ rate}$, maka usaha layak
- Jika $IRR < \text{tingkat } discount \text{ rate}$, maka usaha tidak layak
- Jika $IRR = \text{tingkat } discount \text{ rate}$, maka proyek tidak menguntungkan dan tidak merugi

Hasil tersebut didapatkan menggunakan rumus:

$$IRR = i1 \left(\frac{NPV1}{NPV1 - NPV2} \right) \times (i2 - i1)$$

c. Pay Back Period (PP).

Merupakan pengestimasian terhadap periode yang dibutuhkan untuk menutup kembali kebutuhan investasi, dengan kata lain PP adalah waktu yang dibutuhkan kepada usaha untuk balik modal, berikut merupakan kriteria *Payback Period*:

- Proyek dikatakan layak apabila masa balik modal lebih pendek dari usia ekonomis
- Proyek dikatakan tidak layak apabila masa balik modal lebih lama dari usia ekonomis

Hasil didapat menggunakan rumus berikut:

$$PP = \left(\frac{\text{Investasi}}{\text{EAT} + \text{depresiasi}} \right)$$

3. Kelayakan Lingkungan

Isi dari studi kelayakan dalam aspek lingkungan dalam pemilihan bioteknologi yang akan digunakan, pemilihan teknologi akan memiliki dampak terhadap lingkungan dalam operasionalnya, analisa kelayakan lingkungan antara

lain menganalisis risiko penyebaran vektor penyakit dan bau, risiko emisi gas dan lindi, Pada aspek lingkungan, kriteria yang dipertimbangkan di antaranya:

A. Potensi Timbulan Bau dan Vektor Penyakit

B. Risiko Emisi

Berikut merupakan analisa terkait analisa kelayakan lingkungan:

A. Potensi Timbulan Bau dan Vektor Penyakit

Potensi timbulan bau dan faktor penyakit merupakan beberapa kemungkinan yang akan timbul dari tahapan pada proses pengolahan sampah menggunakan sistem bioteknologi, dari beberapa tahapan yang dilakukan dapat menghasilkan bau dan berpotensi menjadi vektor penyakit, analisis timbulan bau mempertimbangkan dampak yang dapat ditimbulkan kepada pekerja atau petugas kebersihan Kota Yogyakarta, penjelasan mengenai bau dan vektor penyakit pada proses pengolahan sampah dapat dilihat sebagai berikut:

a. Biokonversi Larva dengan BSF

Larva BSF atau Black Soldier Fly berbeda dengan lalat yang pada umumnya berkaitan dengan penyebaran vektor penyakit, Larva BSF memiliki siklus yang relatif pendek, siklus hidupnya diawali dengan fase perkawinan dan bertelur yang berlangsung dalam waktu 3 hari sampai 1 minggu, selama fase tersebut larva BSF tidak makan dan hanya minum dari air yang bersih seperti air embun, hal ini yang menyebabkan lalat BSF tidak menjadi lalat yang menyebarkan vektor penyakit, pada saat menjadi lalat dewasa kebutuhan pakan hidupnya hanya berdasarkan cadangan makanan yang dikumpulkan pada fase Larva dan secara alami setelah melakukan proses perkawinan dan bertelur larva BSF akan mati (Sri *et al.*, 2021).

Larva BSF tidak menimbulkan resiko bau yang ditimbulkan dari sampah Hal ini dikarenakan pada proses pemberian pakan Larva BSF dilakukan pada kondisi terbuka dan sampah yang ada di degradasi oleh Larva BSF dalam waktu yang singkat, Larva BSF pada proses perkembangannya memakan sampah organik dan menghasilkan sisa

makanan dan selanjutnya akan menjadi pupuk organik, dan lindi yang dihasilkan bisa menjadi pupuk cair, maka dari itu dapat disimpulkan bahwa Larva BSF tidak memiliki resiko bau dan memiliki vektor penyakit yang rendah.

b. *Anaerobic Digestion (AD)*/Biogas

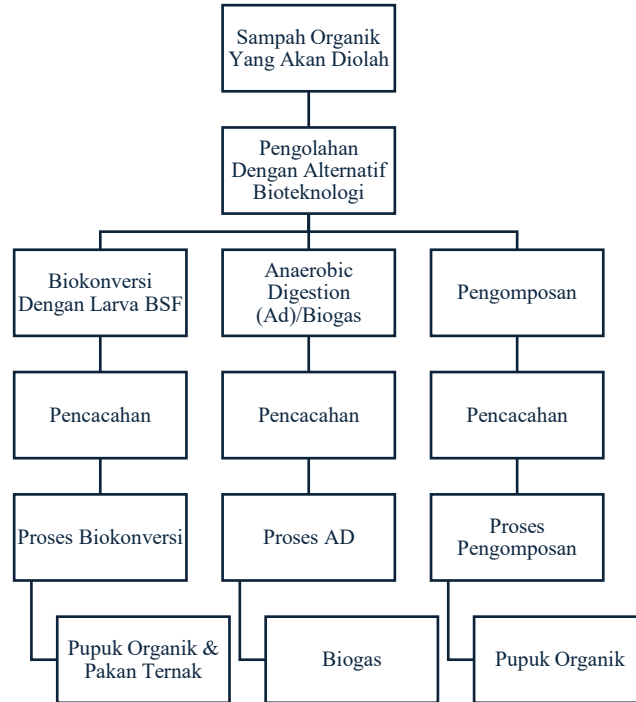
Biogas terbentuk secara anaerob di mana proses pembentukan secara anaerob ini berarti sampah akan dimasukkan ke dalam reaktor yang kedap dari udara dan akan terbebas dari kontak secara langsung dengan oksigen, salah satu resiko penyebaran bau dalam pembentukan biogas adalah Apabila terjadi kebocoran pada reaktor, selain itu risiko bau yang dapat ditimbulkan yaitu berasal dari lumpur endapan yang terbentuk di dalam reaktor pada proses pengeluaran endapan maka akan menimbulkan bau, untuk vektor penyakit pembentukan biogas yang bersifat *Anaerob* tidak akan menimbulkan bau yang dapat memancing kehadiran lalat, dalam proses pembentukan biogas yang berpotensi menjadi vektor penyakit adalah *sludge* atau lumpur endapan yang ada pada reaktor, hal ini dapat terjadi apabila lumpur yang dihasilkan tidak dikelola secara baik dan dapat memancing datangnya lalat, maka dari itu dapat disimpulkan bahwa kegiatan *Anaerobic Digestion* menghasilkan potensi bau dan resiko menjadi vektor penyakit.

c. Pengomposan

Pada proses pengomposan, proses penguraian material biodegradable sampah organik dilakukan secara aerob atau secara terbuka dengan suplai udara, proses pengomposan dapat menimbulkan pencemaran bau karena dilakukan pada ruang terbuka karena tumpukan sampah, potensi bau yang ditimbulkan dihasilkan dari tumpukan sampah yang ditumpuk di area terbuka dan dapat mengganggu kenyamanan di sisi lain tumpukan sampah pada proses pengomposan apabila tidak disuplai dengan udara secara cukup maka dapat mengganggu proses penguraian, proses pengomposan berpotensi besar untuk mendatangkan vektor penyakit yang berupa lalat.

B. Risiko Emisi

Penilaian risiko emisi pada setiap alternatif bioteknologi yang akan dilakukan akan memperhitungkan kebutuhan sumber daya dalam setiap proses (*input*) dan hasil luaran (*output*), dalam penilaian emisi ditetapkan batasan sistem sebagai ruang lingkup proses yang akan dikaji, batasan sistem dalam analisis ini dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Batasan Pengolahan Penilaian Jumlah Emisi

Input dan *output* dari masing-masing opsi bioteknologi ditentukan dari setiap proses yang dilakukan dan peralatan yang digunakan, satuan fungsional yang digunakan adalah Perton per tahun sampah yang diolah, hasil dari analisis ini merupakan estimasi emisi yang dihasilkan dalam proses selama Satu tahun, tahapan pertama dalam analisis ini adalah *Inventory Analysis*, yang merupakan pengumpulan data dan penghitungan *input*.

Inventory analysis meliputi pengumpulan data semua aktivitas dalam sistem. Berdasarkan dokumen opsi bioteknologi dari DLH Sumatera Barat, Analisis *input* dari semua aktivitas dalam sistem dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. 8 Analisis Kebutuhan Sumber Daya (kebutuhan per ton sampah)

Alternatif Bioteknologi	Jenis Sumber Daya	input/ Ton Sampah
Biokonversi dengan larva BSF	Solar pencacah	2,2 L
	Listrik	3,88 kwh
Pengomposan	Solar pencacah air	2,2 L
	Listrik	3,89 L 1,33 kwh
<i>Anaerobic Digestion</i>	Solar pencacah	2,2 L
	Air	1.000 L

(DLH Sumatera Barat, 2022)

Setelah menghitung *input* sumber daya yang dibutuhkan pada setiap alternatif bioteknologi selanjutnya penghitungan beban lingkungan yang ditimbulkan. Pada analisis ini akan dibatas pada penghitungan beban lingkungan dari emisi gas yang dihasilkan dari masing-masing proses.

Pada proses **biokonversi dengan larva BSF** dihasilkan emisi berupa gas CH₄ (metana) dan N₂O (dinitrogen oksida). Pada proses pre-treatment pencacahan dihasilkan emisi gas CO₂ (karbon dioksida) dari pengoperasian mesin pencacah.

Implementasi ***Anaerobic Digestion*** pada dasarnya terjadi dalam suatu sistem tertutup. Kontrol gas yang dihasilkan dapat diatur dengan konstruksi reaktor yang tepat dan kondisi pemberian substrat pada reaktor. Namun demikian teknologi AD masih menimbulkan gas emisi berupa N (nitrogen), NH₃ (amonia), dan P (fosfor).

Proses **Pengomposan** merupakan proses degradasi materi organik pada sampah yang dilakukan dalam kondisi aerob pada ruang terbuka. Proses degradasi oleh mikroorganismenya ini akan melepas emisi gas ke udara. Emisi gas yang dihasilkan terdiri dari CH₄ (metana), N₂O (Nitrogen Dioksida) dan NH₃ (amonia). Berdasarkan *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2006), Xu et.al (2015), Rachim (2017), berikut merupakan tabel estimasi beban lingkungan yang dihasilkan dari kegiatan pengolahan sampah menggunakan beberapa opsi pengolahan:

Tabel 3. 9 Rekapitulasi Beban Emisi dari Sumber Daya Opsi Pengolahan

Alternatif Bioteknologi	input Sampah	Faktor Emisi	Sumber Emisi	Nilai Faktor Emisi	Beban Lingkungan
Biokonversi dengan larva BSF	.... ton/hari	CO ₂	Pencacahan	74.100 kg/TJ	..... ton CO ₂ eq/tahun
		CH ₄	Proses biokonversi	4 g/kg limbah	..... ton/tahun
		N ₂ O		0,3 g/kg limbah	..... ton/tahun
AD	..... ton/hari	CO ₂	Pencacahan	74.100 kg/TJ	..... ton CO ₂ eq/tahun
		N	Proses AD	0,18 kg/ton VS	..... ton/tahun
		NH ₃		0,15 kg/ton VS	..... ton/tahun
		P		0,01 kg/ton VS	..... ton/tahun
Pengomposan	..... ton/hari	CO ₂	Pencacahan	74.100 kg/TJ	.... ton CO ₂ eq/tahun
		CH ₄	Proses Pengomposan	4 g/kg limbah	.... ton/tahun
		N ₂ O		0,3 g/kg limbah	..... ton/tahun
		NH ₃		6,2% /kg limbah	..... ton/tahun

(Intergovernmental Panel on Climate Change,2006), (Xu et.al, 2015), (Rachim, 2017)

4. Aspek Sosial

Kriteria dari aspek sosial merupakan permasalahan yang timbul dari penggunaan bioteknologi di masyarakat, kriteria ini mempertimbangkan potensi konflik antara masyarakat dan kesiapan SDM pengoperasian teknologi. aspek sosial merupakan suatu aspek yang memperhitungkan nilai penting antara masyarakat dan beberapa poin yang harus dipertimbangkan diantaranya adalah sebagai berikut:

- A. Potensi konflik antara masyarakat sekitar
- B. Kesiapan Sumber Daya Masyarakat dalam pengoprasian teknologi

Berikut merupakan Analisa Aspek Sosial:

A. Potensi Konflik Antara Masyarakat

Munculnya konflik antara masyarakat karena adanya hubungan sosial, ekonomi dan politik yang berakar dari perebutan sumber-sumber pemikiran, kekuasaan dan status sosial yang jumlahnya sangat terbatas akan menimbulkan pembagian yang tidak merata pada masyarakat, karena penggunaan bioteknologi pada pengolahan sampah organik Kota Yogyakarta baik secara langsung maupun tidak langsung akan berpengaruh terhadap kegiatan yang telah ada sebelumnya.

Rencana pengolahan akan membuat perubahan pada sistem dropping sampah ke lokasi TPA, sampah akan dilakukan pemilihan terlebih dahulu, sistem bioteknologi pada dasarnya hanya akan memanfaatkan sampah organik sedangkan sampah lainnya diolah dengan sistem pengolahan yang lain.

Maka dari itu agar tidak terjadi kesalahpahaman antara masyarakat maka perlu diadakannya suatu sosialisasi dan penjelasan kepada masyarakat terkait kegiatan yang akan dilakukan, diharapkan agar masyarakat dapat bekerja sama dalam upaya pengolahan sampah organik yang sedang direncanakan.

B. Kesiapan SDM dalam Pengoperasian Teknologi

Faktor selanjutnya yang dibutuhkan dalam perjalanan proses pengolahan sampah organik Kota Yogyakarta adalah sumber daya manusia, Pengolahan sampah organik menggunakan bioteknologi memiliki perbedaan dalam proses pengolahannya sehingga sumber daya manusia menjadi hal yang diperhatikan dalam pengoperasian bioteknologi yang akan diterapkan.

Selain pelaksanaan manajemen dan pembiayaan, dalam perencanaan pengolahan sampah organik Kota Yogyakarta pengolahan bioteknologi membutuhkan pekerja dan juga kualifikasi yang disesuaikan dengan tahapan proses pengolahan pada masing-masing pengolahan. Kebutuhan sumber daya manusia dapat dilihat pada penjelasan berikut:

a. Biokonversi dengan Larva BSF

Proses pengolahan sampah organik menggunakan Larva BSF sebagai opsi bioteknologi membutuhkan sumber daya manusia sebagai pengelola dan pelaksana operasional, kegiatan pengolahan yang dilakukan dalam penggunaan Larva BSF sebagai *bioreactor* pengolahan sampah organik diantaranya adalah:

1) Melakukan pemilahan sampah organik

Pemilahan merupakan salah satu hal yang penting dilakukan pada proses pengolahan sampah menggunakan Larva BSF, pemilahan dapat dilakukan menggunakan bantuan mesin namun akan tetap memerlukan bantuan sumber daya manusia sebagai operatornya, pemilihan dilakukan untuk memastikan bahwa sampah yang diolah adalah sampah organik, karena apabila masih tercampur akan mempengaruhi kinerja larva.

2) Pencacahan

Proses pencacahan dilakukan menggunakan mesin pencacah untuk menyeragamkan ukuran sampah organik agar pengolahan dapat lebih cepat karena larva maggot akan lebih mudah untuk mengolahnya, proses pencacahan membutuhkan sumber daya manusia untuk mengoperasikan mesin.

3) Pemberian pakan Larva

Pemberian pakan terhadap Larva membutuhkan sumber daya manusia untuk memindahkan sampai yang sudah dicacah dan pilah ke bak reaktor larva sebagai sumber pakan larva.

4) Perawatan Larva BSF

Perawatan larva terdiri dari kegiatan yang diantaranya melakukan pemindahan telur ke media penetasan, pemisahan larva yang telah menjadi pupa, dan pembersihan kandang larva yang sudah menjadi lalat dewasa

5) Pengumpulan kasgot

Sisa pakan larva dan kotoran dari larva BSF akan menjadi pupuk organik yang disebut kasgot, Proses pengumpulannya dibutuhkan tenaga manusia

sebagai pekerja pemilah, selanjutnya setelah dipisahkan, kasgot akan dimasukkan ke karung untuk proses packing dan pendistribusian akan dilakukan setelahnya.

Berdasarkan dari penjelasan kegiatan tersebut dapat dilihat bahwa pengolahan sampah menggunakan Larva BSF sebagai opsi bioteknologi membutuhkan sumber daya manusia, kegiatan pengelolaan dan pengembangan Larva BSF tergolong sederhana dan tidak memerlukan ahli dalam suatu disiplin ilmu karena pengoperasiannya yang tergolong sederhana dan mudah, namun sebelumnya harus tetap dilakukan pelatihan terhadap calon pekerja.

b. *Anaerobic Digestion (AD)/Biogas*

Penggunaan *Anaerobic Digestion* dalam opsi pengolahan sampah organik membutuhkan sumber daya manusia dalam operasionalnya, kegiatan yang membutuhkan tenaga manusia pada proses pengolahan sampah menggunakan *Anaerobic Digestion* adalah sebagai berikut:

1) Melakukan pemilihan bahan baku

Pemilahan adalah hal yang penting dilakukan dalam proses pengolahan sampah menggunakan *anaerobic digester*, dilakukan dengan bantuan mesin tetapi tetap membutuhkan tenaga manusia dalam operasionalnya, pemilihan dilakukan untuk memastikan bahwa sampah yang diolah adalah sampah organik.

2) Pencacahan dan pengadukan bahan baku

Proses selanjutnya yaitu proses pencacahan dan pengadukan bahan baku sebelum dan sesudah masuk ke dalam unit digester, pencacahan dilakukan menggunakan bantuan mesin pencacah namun tetap membutuhkan tenaga manusia dalam operasionalnya.

3) Pemasukan bahan organik ke dalam digester

Sampah yang telah dicacah dan dipilah kemudian dimasukkan ke dalam digester, proses pembentukan biogas memerlukan penambahan air dengan variasi perbandingan air dan bahan baku 1:2, proses ini membutuhkan

tenaga manusia dalam pelaksanaannya, setelah proses ini sampah organik dibiarkan dalam beberapa hari yang telah ditentukan untuk produksi gas.

4) Pemantauan dan pemeliharaan

Selama tahap pembentukan gas dari sampah organik, produksi biogas dalam skala yang besar akan membutuhkan tenaga manusia dalam pemantauan dan pemeliharannya, kegiatan Pemantauan dan pemeliharaan diantaranya adalah sebagai berikut:

- Kontrol jumlah sampah dan variasinya menggunakan air
- Kontrol pembentukan gas
- Pemeriksaan kandungan metan yang terkandung dalam biogas
- Pemeriksaan kebocoran
- Pembersihan overflow bahan baku yang dimasukkan ke dalam digester
- Pemeliharaan timbunan tanah di atas kubah
- Pembersihan dan pelumasan katup utama
- Pembersihan dan perawatan penguras air
- Penggantian selang gas secara berkala

Dari beberapa tahapan kegiatan yang telah dijelaskan, produksi biogas dari pengolahan sampah organik membutuhkan sumber daya manusia, proses kegiatan memerlukan tenaga manusia yang terampil karena terdapat proses Pemantauan dan pemeliharaan rutin terhadap biogas dan digester, serta harus ada tenaga ahli apabila terjadi kebocoran karena akan dapat sangat berbahaya (Said, 2002), Biogas memiliki sifat mudah terbakar akan menjadi suatu resiko dalam operasionalnya sehingga dibutuhkan sumber tenaga yang memiliki keahlian khusus.

c. Pengomposan

Proses pengomposan sebagai salah satu opsi pengolahan sampah organik membutuhkan sumber daya manusia sebagai pelaksana operasionalnya, meskipun tidak membutuhkan teknologi khusus dalam pengolahannya, namun tetap membutuhkan sumber daya manusia dalam prosesnya, kegiatan yang membutuhkan sumber daya manusia pada proses pengomposan adalah sebagai berikut:

1) Melakukan pemilihan bahan baku

Pemilahan sampah organik penting dilakukan sebelum proses dilakukan, pemilihan dapat dilakukan menggunakan mesin tetapi tetap membutuhkan tenaga manusia untuk pengoperasionalnya, pemilahan dilakukan dengan memastikan bahwa yang diolah untuk menjadi kompos adalah sampah organik, dan tidak bercampur material lain.

2) Pencacahan

Selanjutnya adalah proses pencacahan, pencacahan dapat dilakukan menggunakan bantuan mesin pencacah untuk menyeragamkan atau untuk memperkecil ukuran sampah organik yang akan diolah, namun tetap membutuhkan tenaga manusia sebagai operator mesin tersebut.

3) Pengomposan

Kegiatan pengomposan membutuhkan sumber daya manusia untuk kegiatan berikut:

- Melakukan penimbunan atau penumpukan sampah dalam unit pengomposan
- Sampah yang masuk ke dalam komposter membutuhkan waktu kurang lebih 30 hari untuk proses pengomposannya
- Pemindahan kompos setengah matang ke area pematangan untuk selanjutnya akan memasuki proses pematangan selama 15 hari

Berdasarkan tahapan proses pengolahan sampah organik menggunakan pengomposan, dapat diketahui bahwa proses pengomposan terdiri dari langkah yang sederhana, proses pengolahan sampah tidak memerlukan ilmu khusus untuk sebagai operator pengolahannya, sumber daya manusia yang akan dijadikan operator pengolahan sampah organik menggunakan bioteknologi cukup melakukan pelatihan singkat dan pelatihan penerapan SOP yang dilakukan saat proses sedang berjalan.

5. Metode Pemilihan Bioteknologi

Setelah dikaji terkait studi kelayakan dari beberapa opsi pengolahan sampah organik, selanjutnya akan dilakukan penilaian terkait aspek-aspek penerapan alternatif bioteknologi yang nantinya akan diketahui metode mana yang memiliki

value yang lebih besar pada pengolahannya. Penilaian multikriteria merupakan proses penilaian kelayakan pemilihan alternatif bioteknologi yang akan digunakan, beberapa aspek studi kelayakan merupakan kriteria utama dalam pemilihan bioteknologi, untuk selanjutnya kriteria-kriteria tersebut akan dibagi menjadi sub kriteria yang membutuhkan penilaian lebih dalam pengambilan keputusan, pengambilan keputusan dan penilaian dilakukan menggunakan metode *Grid analysis*, yang mana metode ini adalah teknik analisis secara kuantitatif pada proses pengambilan keputusan, pertimbangan yang akan dikaji didasarkan penilaian, analisa multi kriteria akan membentuk hirarki analisis dengan tujuan utama pada kedudukan pertama dan disusul dengan subkriteria yang ada. Berikut merupakan langkah-langkah dalam melakukan penilaian menggunakan *Grid analysis* :

Tabel 3. 10 Langkah Dalam Pembuatan *Grid Analysis*

Tahap	Proses
1	Mencantumkan pilihan yang direkomendasikan dan faktor-faktor pertimbangan beri nilai pada masing-masing faktor pertimbangan tersebut.
2	Pemberian nilai pada masing-masing faktor dengan opsi nilai dari 1 sampai 5, pemberian nilai tidak harus berbeda pada masing-masing pilihan, jika tidak satupun dari pilihan yang dianggap baik untuk faktor tertentu dalam suatu keputusan, maka dapat diasumsikan sebagai nilai 0.
3	Peberian nilai <i>weighting factor</i> dengan nilai tertentu pada setiap faktor yang dipertimbangkan.
4	Pengkalikan antara tahap 2 dan tahap 3 lalu hasilnya dijumlahkan pada setiap baris tabel, kemudian nilai yang keluar dapat dirujuk menjadi suatu pertimbangan pada faktor yang dipertimbangkan.
5	Pemilihan nilai tertinggi pada hasil perhitungan langkah 4 yang digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan.

(DLH Sumatera Barat, 2022)

Tabel 3. 11 Petunjuk Penilaian Menggunakan Metode *Grid Analysis*

Pilihan Teknologi Faktor	Pilihan Bioteknologi	Poin	Weighting Factor	Keterangan
Aspek teknis				
Potensi pengolahan sampah	Penilaian potensi penerapan bioteknologi dengan kondisi sampah regional, penilaian terbagi menjadi A. Berpotensi B. Tidak berpotensi	A = 5 B = 0	5	Ditetapkan nilai weight factor dengan angka 5 karena sampah merupakan hal sangat penting dalam pengolahan sampah yang dilakukan dengan sistem bioteknologi
Tingkat reduksi sampah	Perhitungan terhadap tingkat reduksi sampah pada setiap teknologi, terbagi menjadi A. Tingkat tertinggi 1 B. Tingkat tertinggi 2 C. Tingkat tertinggi 3	A = 5 B = 4 C = 3	4	Nilai weight factor 4 disebabkan karena tingkat reduksi merupakan hal yang penting dalam pengolahan sampah tingkat reduksi mencerminkan banyaknya sampah yang dapat diproses dalam siklus yang ditentukan
Kompleksitas proses	Penilaian kompleksitas dikaji dari masing-masing alur proses pengolahan sampah, yang terbagi sebagai A. Sederhana B. Cukup kompleks C. kompleks	A = 5 B = 3 C = 1	4	Nilai weight factor 4 disebabkan karena kompleksitas proses merupakan hal yang penting pada pengolahan sampah kompleksitas mempengaruhi tingkat kesulitan proses operasional dari teknologi yang dipilih
Waktu pengolahan	Menghitung waktu pengolahan yang dibutuhkan setiap teknologi, terbagi menjadi : A. Waktu tercepat 1 B. Waktu tercepat 2 C. Waktu tercepat 3	A = 5 B = 4 C = 3	4	Nilai weight factor 4 disebabkan karena waktu pengolahan merupakan hal yang penting dalam pengolahan sampah waktu pengolahan akan mempengaruhi tingkat banyaknya hasil olahan atau produk yang dihasilkan dari pengaplikasian teknologi
Luas area atau lahan	Perhitungan luas area atau lahan yang dibutuhkan pada penerapan bioteknologi, penilaian dibagi menjadi: A. Luas efektif 1 B. Luas efektif 2 C. Luas efektif 3	A = 5 B = 4 C = 3	4	Nilai weight factor 4 karena luas lahan cukup penting dalam pengolahan sampah, menjadi faktor pendukung kesuksesan penerapan teknologi
Faktor ekonomi				
Biaya investasi	Penilaian untuk menentukan biaya investasi yang dibutuhkan untuk masing	A = 5 B = 4 C = 3	5	Nilai weight factor 5 dikarenakan investasi merupakan hal yang sangat

Pilihan Teknologi Faktor	Pilihan Bioteknologi	Poin	Weighting Factor	Keterangan
	masing teknologi, terbagi menjadi : A. Investasi terendah 1 B. Investasi terendah 2 C. Investasi terendah 3			penting dalam pembiayaan, pembiayaan yang terbatas dapat menghambat program pengolahan sampah yang telah direncanakan
Keuntungan dari hasil produk	Penilaian yang dilakukan untuk menentukan perkiraan keuntungan dari masing masing teknologi, dibagi menjadi: A. Untung tertinggi 1 B. Untung tertinggi 2 C. Untung tertinggi 3	A = 5 B = 4 C = 3	3	Nilai weight factor 3 karena keuntungan merupakan hal yang cukup penting dalam kegiatan perekonomian namun tidak menjadi tujuan utama dalam kegiatan pengolahan sampah yang direncanakan
Aspek Lingkungan				
Resiko penyebaran penyakit dan bau	Penilaian dilakukan untuk melihat dampak dari penggunaan bioteknologi terhadap resiko timbulnya dan tersebarnya penyakit, dibagi menjadi : A. Tidak beresiko B. Resiko rendah C. Resiko tinggi	A = 5 B = 3 C = 1	4	Nilai weight factor 4 karena pencegahan persebaran penyakit merupakan hal yang harusnya menjadi tujuan dari diadakan pengolahan sampah, timbulan penyakit dan bau harus dikendalikan
Resiko pencemaran emisi dan lindi	Penilaian dilakukan untuk melihat dampak dari bioteknologi terkait gas dan lindi, terbagi menjadi A. Tidak beresiko B. Beresiko rendah C. Beresiko tinggi	A = 5 B = 3 C = 1	4	Nilai weight factor 4 karena pencemaran emisi dan lindi harus dapat dikendalikan untuk mengurangi resiko terhadap masyarakat yang berada di sekitar tempat pengolahan
Aspek Sosial				
Potensi konflik	Penilaian potensi konflik antara masyarakat dari penerapan bioteknologi, penilaian dibagi menjadi : A. Tidak berpotensi B. Potensi rendah C. Potensi tinggi	A = 5 B = 3 C = 1	4	Nilai weight factor 4 karena konflik merupakan hal yang penting dalam beroperasinya dan keberlanjutan teknologi yang dipilih
Kesiapan SDM	Penilaian dari kesiapan, keterampilan SDM dan jumlah SDM yang diperlukan dalam pengoprasian teknologi Dibagi menjadi: A. Diperlukan SDM dengan keahlian khusus B. Tidak diperlukan SDM dengan keahlian khusus	A = 5 B = 3	4	Nilai weight factor 4 dikarenakan pemilihan teknologi harus disesuaikan, hal ini penting karena setiap tahapan memiliki proses yang berbeda dan harus dijalankan dengan SDM sesuai kemampuannya

(DLH Sumatera Barat, 2022)

Setelah dilakukan penilaian terhadap aspek studi kelayakan, selanjutnya nilai tersebut dikalikan dengan nilai weighting factor, yang dapat dikaji dengan tabel berikut:

Tabel 3. 12 Tabel Nilai Akhir Penilaian Aspek Studi Kelayakan Opsi Bioteknologi

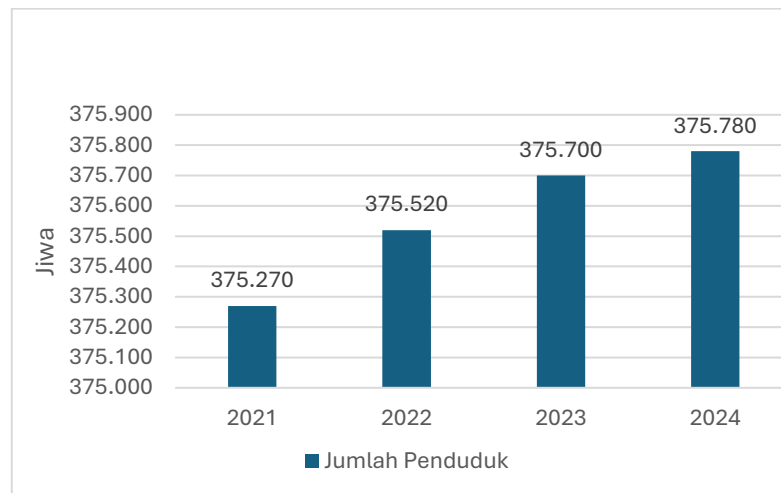
Pilihan Teknologi	Weight Factor	Penilaian BSF	Penilaian Akhir BSF	Penilaian AD	Penilaian Akhir AD	Penilaian Kompos	Penilaian Akhir Kompos
Faktor	1	2	1x2	3	1x3	4	1x4
Teknis							
Potensi Pengolahan Sampah							
Tingkat Reduksi Sampah							
Kompleksitas Proses							
Waktu Pengolahan							
Luas Area Atau Lahan							
Ekonomi							
Nlai Investasi yang Terjangkau							
Nilai Keuntungan yang Tinggi							
Lingkungan							
Risiko Vektor Penyakit dan Bau							
Risiko Emisi							
Sosial							
Potensi Konflik Antara Masyarakat							
Kebutuhan SDM Dalam Pengoperasian Teknologi							
Jumlah							

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proyeksi Penduduk dan Timbulan Sampah Kota Yogyakarta

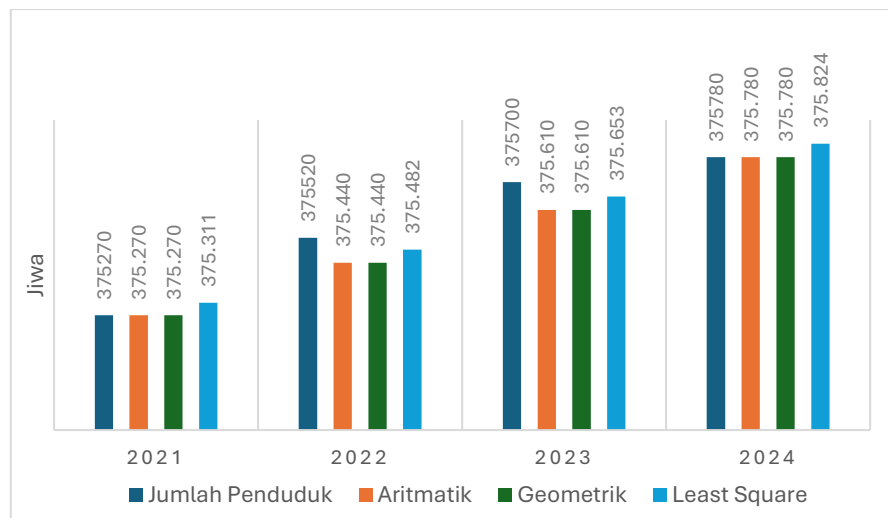
Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat setiap tahunnya menjadi salah satu tantangan dalam pengelolaan lingkungan. Terutama dalam hal pengelolaan sampah, berdasarkan proyeksi penduduk, semakin tinggi populasi manusia di suatu area maka akan semakin tinggi timbulan sampah yang dihasilkan, hal ini disebabkan oleh aktivitas manusia yang menghasilkan limbah dari beberapa sektor, mulai dari rumah tangga sampai fasilitas umum, proyeksi penduduk dapat dilakukan menggunakan 3 metode, yaitu metode Aritmatik, metode Geometrik, dan metode Least Square. Laju pertumbuhan diperoleh berdasarkan data perkembangan jumlah penduduk 4 tahun kebelakang, dari ketiga metode tersebut, metode yang menghasilkan nilai standar deviasi paling kecil (mendekati angka nol) pada proyeksi penduduk mundur akan digunakan sebagai metode pada proyeksi penduduk maju, berikut merupakan tabel jumlah penduduk Kota Yogyakarta, berikut merupakan tabel jumlah penduduk Kota Yogyakarta dan untuk tampilan data lebih lengkap dapat dilihat pada [Lampiran A](#):



Gambar 4. 1 Jumlah Penduduk Kota Yogyakarta (BPS Kota Yogyakarta,2025)

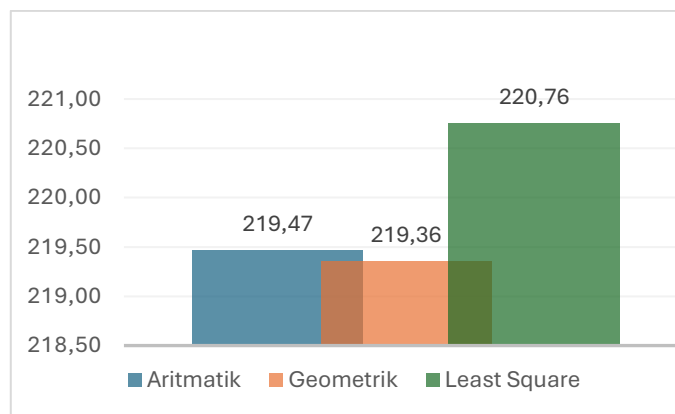
4.1.1 Proyeksi hitung mundur penduduk

Dengan bertolak dari data penduduk tahun 2024, untuk mencari tren kenaikan penduduk dapat dilakukan perhitungan menggunakan metode Aritmatik, Geometrik, dan Least Square dengan mencari standar deviasi yang paling kecil. Hasil perhitungan mundur proyeksi penduduk kemudian dibandingkan dan di cari standar deviasi yang paling kecil, berikut merupakan perbandingan dari ketiga metode proyeksi penduduk dan untuk tampilan data lebih lengkap dapat dilihat pada [lampiran A-E](#):



Gambar 4. 2 Rekapitulasi perhitungan mundur menggunakan 3 metode (Hasil Perhitungan,2025)

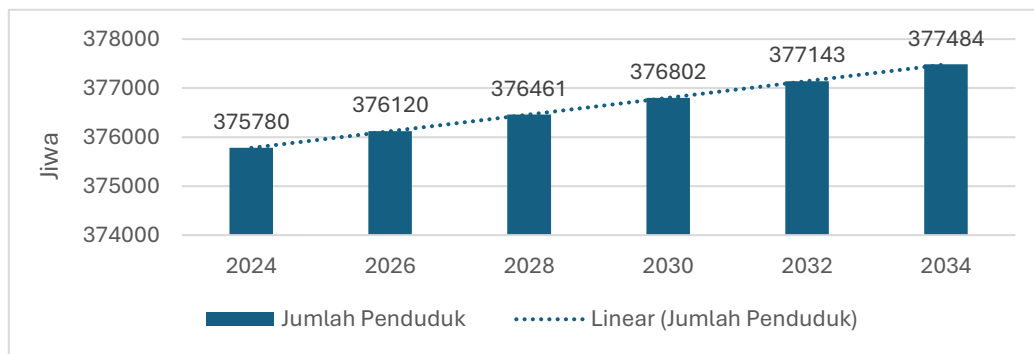
Berikut merupakan perbandingan standar deviasi dari metode proyeksi mundur perhitungan penduduk:



Gambar 4. 3 Standar deviasi metode hitung mundur penduduk (Hasil Perhitungan, 2025)

4.1.2 Proyeksi hitung maju penduduk

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa metode Geometri memiliki nilai standar deviasi paling kecil, metode tersebut kemudian akan digunakan untuk memproyeksikan penduduk Kota Yogyakarta untuk beberapa tahun kedepan, setelah dilakukan perhitungan, berikut merupakan proyeksi maju selama 10 tahun mendatang untuk Kota Yogyakarta, dapat dilihat pada grafik berikut, dan untuk tampilan data lebih lengkap dapat dilihat pada [Lampiran F](#) :



Gambar 4. 4 Grafik kenaikan jumlah penduduk Kota Yogyakarta (Hasil Perhitungan, 2025)

Berdasarkan proyeksi penduduk dengan metode *Least Square*, didapatkan jumlah penduduk Kota Yogyakarta hingga tahun rencana yaitu 2034, berdasarkan perhitungan maka dapat diketahui juga jumlah timbulan sampah yang dihasilkan.

4.2 Timbulan Sampah, Komposisi dan Massa jenis

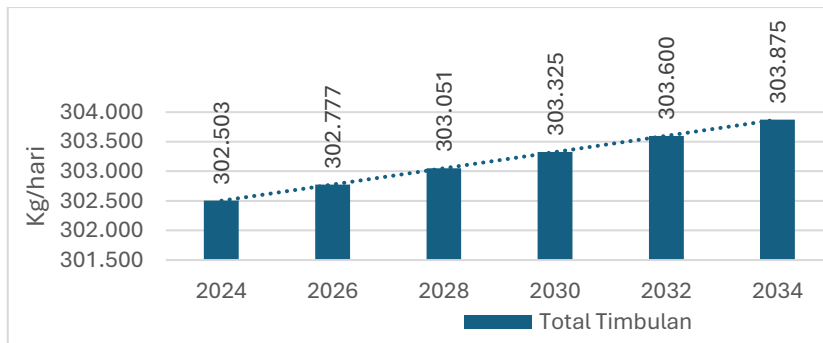
Sumber timbulan sampah terdiri dari beberapa sumber, yaitu sumber domestik dan sumber non domestik:

1. Timbulan sampah Domestik berasal dari unit rumah permanen, rumah semi permanen, dan rumah non-permanen, berdasarkan data masterplan persampahan tahun 2022, timbulan sampah/orang/hari untuk Kota Yogyakarta adalah 0,5 kg/orang/hari dengan persentase sampah organik sebesar 52,9%.
2. Timbulan Sampah Non Domestik, pada tugas perencanaan ini timbulan sampah non domestik bersumber dari fasilitas umum. Fasilitas umum tersebut meliputi kantor, sekolah, pasar, toko/ruko dan jalan raya, berdasarkan data masterplan

persampahan Kota Yogyakarta tahun 2022, timbulan sampah/orang/hari untuk Kota Yogyakarta adalah 0,3 kg/orang/hari dengan persentase sampah organik sebesar 40%.

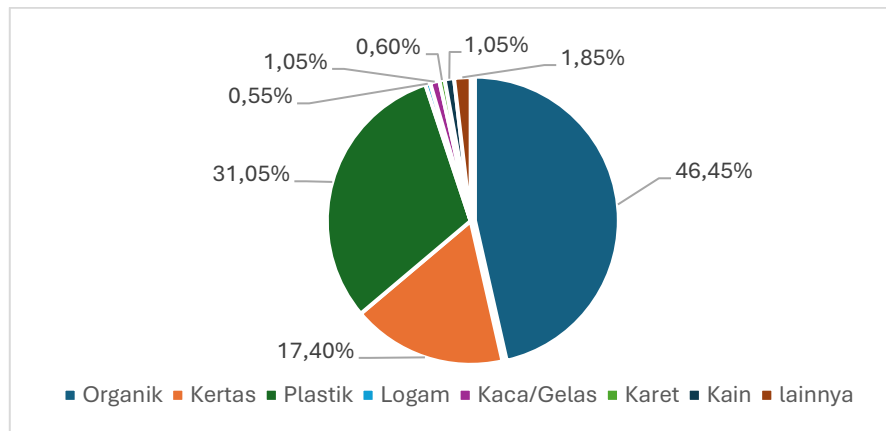
Dari data tersebut maka dapat disimpulkan bahwa timbulan total sampah/orang/hari Kota Yogyakarta adalah 0,8 kg/orang/hari dengan persentase organik sebesar 46,5% (Masterplan Persampahan Kota Yogyakarta, 2022),

Setelah dilakukan proyeksi terhadap jumlah penduduk, selanjutnya dilakukan proyeksi terhadap jumlah timbulan sampah, proyeksi dilakukan menggunakan timbulan kilogram per orang per hari dikalikan jumlah penduduk, data tersaji dalam grafik berikut, dan untuk data lebih lengkap dapat dilihat pada [Lampiran F](#):



Gambar 4. 5 Proyeksi Jumlah Timbulan Sampah 10 Tahun Kedepan

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa setiap tahunnya jumlah sampah Kota Yogyakarta rata-rata meningkat sebanyak 137 kg/tahun, atau 0,05% per tahun. Selanjutnya, komposisi sampah merupakan perbandingan komponen masing-masing sampah terhadap antara keseluruhan sampah. Komposisi sampah diperlukan untuk menetapkan jenis perlakuan penanganan sampah yang berorientasi kepada pemanfaatan, daur ulang, pengomposan, pembakaran, dan lain-lain. Sebagai contoh jika sampah mengandung banyak bahan organik pengelolaan pada sumber sampah akan lebih mudah jika dilakukan pemisahan antara sampah organik dan anorganik serta adanya proses pengomposan yang sederhana. Metode atau cara pengambilan contoh sampah untuk mengetahui komposisi sampah tercantum pada SNI 19-3964-1994 Tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan. Berikut merupakan grafik komposisi sampah Kota Yogyakarta :



Gambar 4. 6 Komposisi sampah Kota Yogyakarta (SIPSN Kota Yogyakarta, 2024)

Tabel 4. 1 Persentase Rata-Rata Timbulan Sampah Organik Kota Yogyakarta

Persentase sampah organik pemukiman	Persentase sampah organik non-pemukiman	Rata-rata timbulan sampah organik
52,9%	40%	46,45%

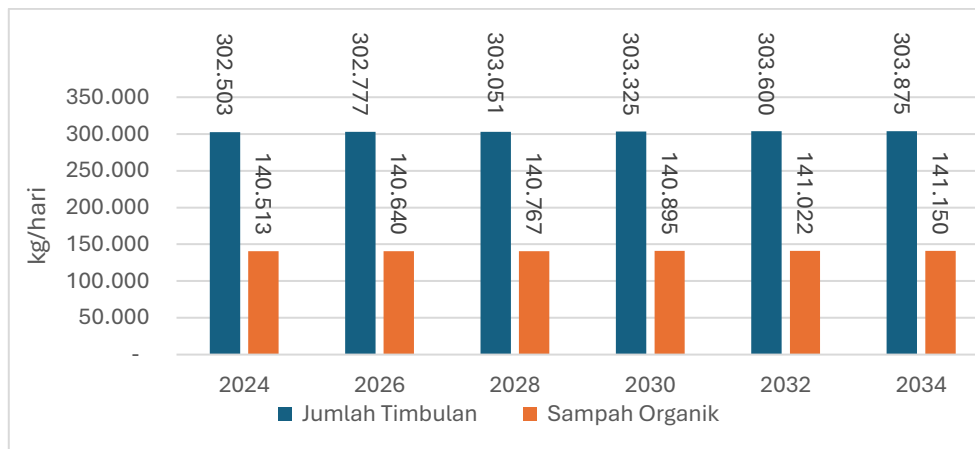
(Masterplan Persampahan Kota Yogyakarta ,2022)

Grafik tersebut menunjukkan bahwa timbulan sampah organik merupakan timbulan yang paling mendominasi, dari jumlah timbulan tersebut menunjukkan potensi yang masih sangat terbuka lebar untuk pemanfaatan bioteknologi untuk membantu mengolah sampah organik Kota Yogyakarta. Potensi daur ulang merupakan kemampuan yang ada dalam komponen sampah tersebut untuk dapat dikembangkan kembali menjadi produk baru, pada tahun 2024, menurut dokumen masterplan pengolahan sampah Kota Yogyakarta, sebesar 83,4% sampah dapat dikelola untuk kebutuhan daur ulang, dan sisanya akan menjadi residu.

Persentase komposisi sampah berkaitan dengan Massa jenis sampah, massa jenis sampah merupakan berat sampah yang diukur dalam satuan kilogram yang dibandingkan dengan volume sampah, analisis ini dibutuhkan untuk menentukan berat dan volume sampah yang akan diolah, nilai ini digunakan untuk mengestimasi pengolahan sampah, massa jenis sampah perkotaan berdasarkan SNI 19-3983-1995 adalah 200-300 kg/m³, massa jenis yang digunakan adalah 300 kg/m³.

4.3 Analisis Beban Pengolahan Sampah Organik

Penggunaan bioteknologi dipilih untuk membantu mengolah sampah organik Kota Yogyakarta yang secara persentase mendominasi dibanding dengan jenis sampah lain, pengolahan sampah memanfaatkan sampah organik yang mudah terurai, analisa beban pengolahan merupakan analisa jumlah sampah yang dapat diolah berdasarkan komposisi sampah. Analisa menggunakan persentase komposisi sampah Kota Yogyakarta berdasarkan dokumen masterplan persampahan Kota Yogyakarta tahun 2022, massa jenis yang digunakan adalah 300kg/m^3 , berikut merupakan tabel analisis beban pengolahan sampah organik:



Gambar 4. 7 Beban Pengolahan Sampah Organik Kota Yogyakarta (Hasil Perhitungan,2025)

Berdasarkan data tersebut, dapat dilihat bahwa pada tahun 2034 dari jumlah timbulan sampah perhari 313.768 kg/hari, maka dengan persentase komposisi sampah, 145.745 kg/hari sampah organik dapat diolah menggunakan bioteknologi, dan untuk data lebih lengkap dapat dilihat pada [Lampiran H](#).

4.4 Kajian Aspek Teknis Penerapan Bioteknologi

Pada sub-bab ini akan dikaji analisis penerapan alternatif teknologi dari beberapa penerapan teknis, aspek yang dikaji antara lain:

1. Potensi Pengolahan Sampah Organik
2. Kapasitas Pengolahan dan Waktu Proses
3. Tingkat Reduksi Sampah
4. Estimasi Kebutuhan Lahan

4.4.1 Potensi Pengolahan Sampah Organik

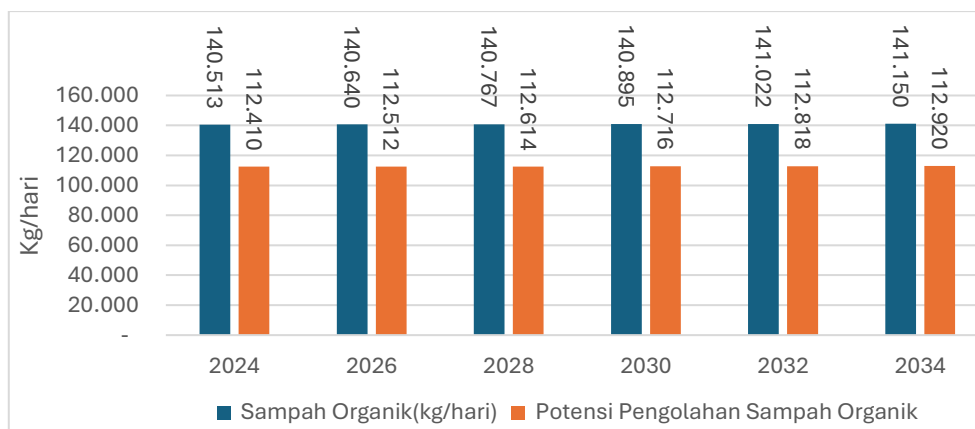
Potensi daur ulang sampah organik merupakan salah satu hal yang dapat dikembangkan untuk menghasilkan produk baru, upaya daur ulang akan lebih maksimal apabila sudah dilakukan pemilahan jenis jenis sampah, potensi daur ulang dapat di tetapkan dan digunakan berdasarkan keseimbangan materi dalam jenis sampah yang akan diolah dan sisanya akan menjadi residu yang selanjutnya memerlukan pembuangan akhir atau pemusnahan, berikut merupakan nilai potensi daur ulang dari beberapa jenis sampah:

Tabel 4. 2 Nilai Potensi Daur Ulang Jenis Sampah

Komponen Sampah	Potensi Daur Ulang (%)
Organik mudah terurai	80
Plastik	50
Kertas	40
Logam	80
Gelas dan kaca	70

(Trihadiningrum,2006)

Analisa potensi pengolahan sampah menggunakan persentase 80% menunjukkan potensi pengolahan sampah sebagai berikut dan data lebih lengkap dapat dilihat pada [Lampiran I](#):



Gambar 4. 8 Potensi daur ulang sampah organik Kota Yogyakarta (Hasil Perhitungan, 2025)

4.4.2 Kapasitas Pengolahan dan Waktu Proses

Untuk menentukan kebutuhan operasional dalam penerapan bioteknologi dibutuhkan kapasitas pengolahan, kapasitas pengolahan diproyeksikan hingga akhir

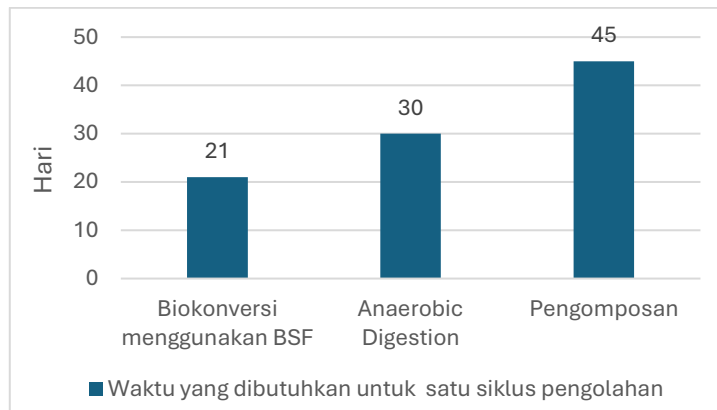
tahun perencanaan yaitu 2034 dan data pada tahun akhir yang digunakan, pengolahan akan ditentukan menggunakan 3 skenario sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Skenario Pengolahan Sampah Organik Kota Yogyakarta

Skenario	Keterangan	Kapasitas Pengolahan	
		Kg/Hari	m ³ /Hari
Skenario 1	Kapasitas pengolahan 30% dari potensi daur ulang sampah organik yang berasal dari pemukiman dan non-pemukiman	33.876	113
Skenario 2	Kapasitas pengolahan 50% dari potensi daur ulang sampah organik yang berasal dari pemukiman dan non-pemukiman	56.460	188
Skenario 3	Kapasitas pengolahan 100% dari potensi daur ulang sampah organik yang berasal dari pemukiman dan non-pemukiman	112.920	376

Nilai tersebut yang akan digunakan menjadi dasar dalam penilaian aspek teknis pemilihan alternatif Bioteknologi, massa jenis sampah perkotaan berdasarkan SNI 19-3983-1995 adalah 200-300 kg/m³, massa jenis yang digunakan adalah 300 kg/m³.

Digunakan 3 skenario dalam perencanaan berdasarkan pendekatan perencanaan infrastruktur berkelanjutan dan konteks lokal wilayah perencanaan. Perbedaan tingkat partisipasi dan kesiapan masyarakat, skenario 1 mencerminkan kesiapan minimum pengolahan, skenario 2 menunjukkan tingkat sedang ketika wilayah sudah menjalankan sistem pemilahan dan pengolahan disumber, skenario 3 menggambarkan kondisi ideal jangka panjang dimana diharapkan pengolahan sampah organik tidak bergantung pada TPA dan ini selaras dengan target nasional untuk *Zero Waste to Landfill* (Putri *et al.*, 2023), Skenario bertingkat digunakan untuk analisis kelayakan ekonomi dan penyusunan *roadmap* bertahap secara progresif dan skema ini membantu pemerintah mengelola anggaran untuk menghindari kegagalan investasi secara total (Agustina, 2022). Selanjutnya kebutuhan waktu proses akan mengestimasi waktu yang dibutuhkan dalam satu siklus pengolahan sampah organik dengan beberapa opsi pengolahan, berikut merupakan hasil analisa kebutuhan waktu pengolahan:



(Damanhuri, 2016), (Popa dan Green, 2012), (Ricci dan Confalonieri, 2016)

Gambar 4. 9 Waktu Pengolahan sampah menggunakan beberapa opsi pengolahan

4.4.3 Tingkat Reduksi Sampah

Pada sub-bab ini akan menjelaskan tentang bagaimana bioteknologi dapat mereduksi sampah organik yang diterima, berkaitan dengan jumlah sampah dan proyeksi dalam tahun yang ditentukan, merupakan proporsi pengurangan jumlah sampah yang telah melewati proses reduksi, berikut merupakan kajian terkait pengurangan jumlah sampah dari beberapa metode:

1. Biokonversi dengan Larva BSF

Tingkat reduksi sampah adalah proporsi pengurangan jumlah sampah yang sudah melalui proses reduksi menggunakan bioteknologi. Proses reduksi sampah menggunakan Larva BSF dapat mengolah sampah organik 100% menjadi bahan yang dapat digunakan kembali yang berbentuk bahan organik menjadi pupuk dan larva yang mengandung protein tinggi, menurut Sastro (2016) dan Kusumawati (2020), berikut merupakan standar *output* yang diperoleh dalam penggunaan larva maggot:

Tabel 4. 4 Proyeksi *output* Pengolahan menggunakan alternatif Larva BSF

Jenis	Jumlah
Konversi menjadi larva tinggi protein	30-40%
Pupuk organik	60-70%
Pupuk cair organik	1,5L dari 10kg sampah

(Sastro,2016), (Kusumawati, 2020)

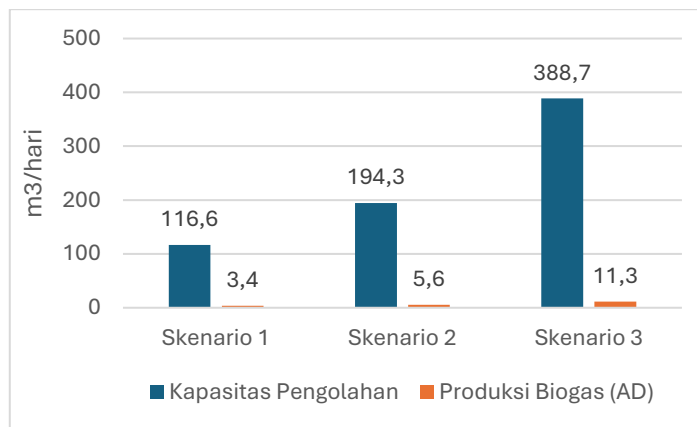
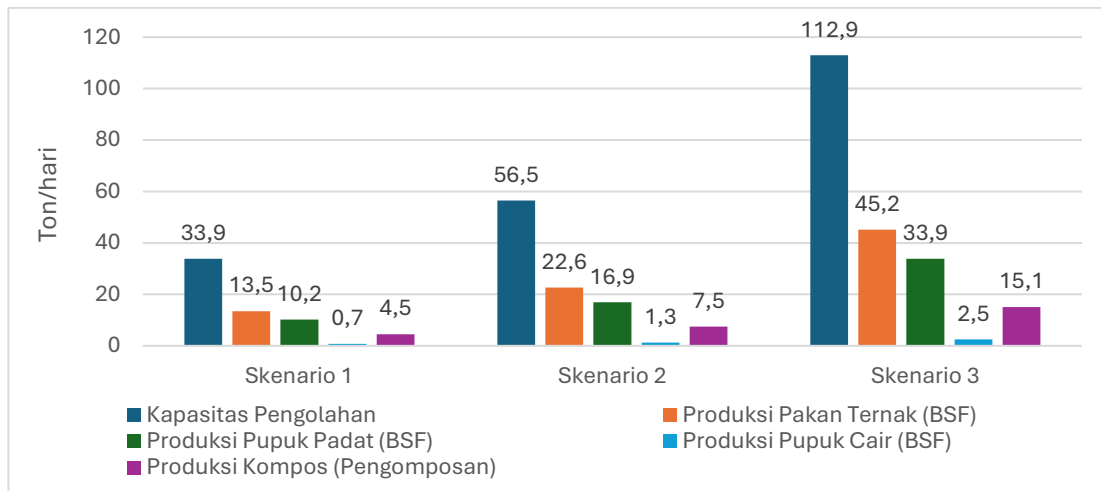
Produk akhir dari biokonversi menggunakan Larva BSF adalah *fresh* maggot yang dapat digunakan sebagai pakan hewan ternak atau digunakan sebagai bahan baku untuk kebutuhan penunjang protein, produk *fresh* maggot yang dijual diasumsikan adalah 70% dari siklus dan 30% nya akan masuk ke proses perkembangbiakan untuk mempersiapkan siklus selanjutnya, pupuk organik padat dan pupuk cair merupakan produk turunan dari proses, sebagai residu dari proses biokonversi yang dapat digunakan sebagai penunjang kegiatan pertanian.

2. *Anaerobic Digestion* (AD)/Biogas

Tingkat reduksi sampah menggunakan *Anaerobic Digestion* dapat dianalisa menggunakan pendekatan nilai TS (*Total Solid Content*), nilai TS sampah organik perkotaan adalah 20% dimana akan dapat menghasilkan biogas sebanyak 0,5 m³/kg (Yuniar,2017). Proses pengolahan sampah organik menggunakan *Anaerobic Digestion* menghasilkan biogas sebagai produk utamanya, produk lanjutannya adalah *slurry* yang mengandung kandungan organik yang tinggi tergantung dari jenis substrat yang diproses.

3. Pengomposan

Opsi sarana pengolahan sampah organik selanjutnya adalah menggunakan teknik pengomposan, teknik ini sudah umum digunakan di Indonesia dan menjadi salah satu alternatif yang paling banyak digunakan, hal ini didukung dengan pengoprasiaannya yang mudah dan tidak memerlukan tambahan energi dalam prosesnya. Proses pengomposan menghasilkan produk akhir berupa kompos, proses degradasi pada material organik yang dilakukan oleh mikroorganisme menyebabkan sampah mengalami pengurangan berat dan volume. Berikut merupakan rekapitulasi estimasi produk yang dihasilkan dari pengolahan sampah organik menggunakan beberapa opsi pengolahan dan untuk data lebih lengkap dapat dilihat pada [Lampiran J](#) :



Gambar 4. 10 Estimasi Produk yang dihasilkan dari Proses Pengolahan

4.4.4 Estimasi Kebutuhan Lahan

Dalam penentuan alternatif bioteknologi yang akan digunakan dalam kegiatan pengolahan sampah organik Kota Yogyakarta, analisis kebutuhan lahan merupakan salah satu kriteria yang harus diperhitungkan, hasil dari perhitungan akan menjadi estimasi yang akan dibandingkan dengan ketersediaan lahan di Kota Yogyakarta, Berikut merupakan hasil analisis kebutuhan lahan dari beberapa opsi bioteknologi yang akan direncanakan dan untuk data lebih lengkap dapat dilihat pada [Lampiran K](#):

1. Biokonversi dengan Larva BSF

Kebutuhan lahan terbagi menjadi beberapa bagian dalam setiap proses, diantaranya area Bioreaktor BSF dimana area tersebut merupakan area pembesaran Larva BSF dan tempat mereduksi sampah organik, selanjutnya area perkawinan dan

penetasan yang merupakan media berkembang biak, selanjutnya merupakan area pengeringan kompos dan kolam aerasi untuk mengolah produk lanjutan dari pengolahan sampah, direncanakan juga estimasi kebutuhan fasilitas penunjang seperti gudang, kantor, pos jaga, dll. Berikut merupakan tabel hasil analisis kebutuhan lahan yang dibutuhkan pengolahan sampah organik menggunakan alternatif Larva BSF:

Tabel 4. 5 Estimasi Kebutuhan Lahan Penggunaan Metode BSF (Hasil Perhitungan, 2025)

Penggunaan Lahan	Jumlah (m ²)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
FASILITAS UTAMA			
Area Pengolahan	1.778	2.964	5.928
Area Perkawinan	254,1	423,4	846,90
Area Penetasan	135,5	225,8	451,7
Area Pengeringan Kompos	790,4	1317,4	2.635
Kolam Aerasi	75	125	250
FASILITAS PENUNJANG			
Gudang	150	250	450
Kantor	36	36	36
Pos Jaga	4	4	4
Workshop	49	49	49
JUMLAH	3.272	5.395	10.651

2. *Anaerobic Digestion* (AD)/Biogas

Untuk menentukan kebutuhan lahan penggunaan metode *Anaerobic Digestion* dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan praktis dari contoh implementasi yang sudah ada, modul teknologi wte berbasis proses biologis *Anaerobic Digestion* Telah disusun oleh Kementerian PUPR pada tahun 2018, dan salah satu pendekatan dari penerapan *Anaerobic Digestion* di Indonesia adalah 4000 m² lahan dengan kapasitas maksimum 15 ton/hari.

Dari nilai tersebut dapat dilakukan pendekatan untuk memperhitungkan kebutuhan lahan pengolahan sampah organik menggunakan metode *Anaerobic Digestion* sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Estimasi Kebutuhan Lahan Penggunaan Metode Anaerobic Digestion (Hasil Perhitungan, 2025)

Penggunaan Lahan	Jumlah (m ²)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
FASILITAS UTAMA			
Bioreaktor AD	9034	15056	30112
FASILITAS TAMBAHAN			
Gudang	150	250	450
Kantor	36	36	36
Pos Jaga	4	4	4
Workshop	49	49	49
JUMLAH	9.273	15.395	30.651

3. Pengomposan

Kebutuhan lahan dalam pengolahan sampah menggunakan alternatif pengomposan dibagi menjadi beberapa bagian pada setiap prosesnya, pada prosesnya setidaknya ada 4 area utama yang dibutuhkan yaitu area pengomposan, area pencacahan, area pengeringan kompos dan area pengayakan, berikut merupakan tabel hasil estimasi kebutuhan lahan yang dibutuhkan dalam penggunaan metode pengomposan:

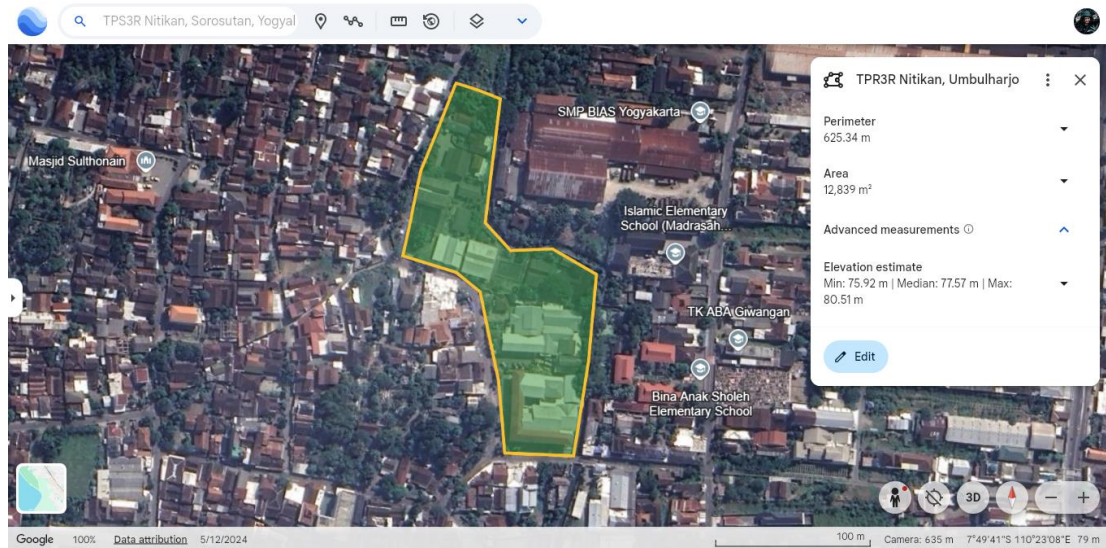
Tabel 4. 7 Estimasi Kebutuhan Lahan Penggunaan Metode Pengomposan (Hasil Perhitungan, 2025)

Penggunaan Lahan	Jumlah (m ²)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
FASILITAS UTAMA			
Area Pencacahan Sampah	12,8	19,2	38,4
Area Pengomposan	6605,8	11009,7	22019,4
Area Pematangan Kompos	351,3	585,5	1171,0
Area Pengayakan	28	42	84
FASILITAS PENDUKUNG			
Gudang	150	250	450
Kantor	36	36	36
Pos Jaga	4	4	4
Workshop	49	49	49
JUMLAH	7237	11995	23852

Berdasarkan dokumen RT/RW Kota Yogyakarta (2021), Perencanaan Tempat Pengolahan Sampah pada Penentuan lokasi baru harus dilandaskan arahan struktur ruang kota, kawasan pusat pelayanan dan pusat pertumbuhan ekonomi lebih diprioritaskan dan pemerintah kota telah menetapkan bahwa lokasi fasilitas pengolahan sampah skala kota harus berada di dalam kawasan yang telah ditetapkan sebagai zona fasilitas layanan dalam struktur RTRW.

Pembangunan sarana pengolahan sampah di kawasan perkotaan kerap menghadapi masalah keterbatasan lahan terutama di kota-kota yang memiliki kepadatan penduduk tinggi dan tekanan penggunaan ruang yang tinggi, kota Yogyakarta merupakan salah satu contoh wilayah yang mengalami kesulitan dalam menyediakan area baru untuk pembangunan sarana atau fasilitas publik sebagai contoh adalah sarana pengolahan sampah skala kota, dengan kondisi tersebut alternatif yang dapat dilaksanakan secara realistis dan adaptif adalah melaksanakan strategi pengembangan dan optimalisasi terhadap sarana pengolahan yang telah ada, salah satu lokasi yang memiliki potensi untuk dikembangkan adalah TPS 3R nitikan yang berlokasi di Kecamatan Umbulharjo dengan luas lahan sebesar 12.839m² (Masterplan pengelolaan sampah kota Yogyakarta, 2022).

Fasilitas pengolahan sampah tersebut dapat dioptimalkan fungsinya melalui integrasi teknologi pengolahan sampah organik seperti yang sedang direncanakan pada perencanaan kali ini, pendekatan ini tidak hanya mendukung efisiensi ruang tetapi juga memungkinkan penguatan kapasitas pengolahan secara bertahap tanpa perlu pembukaan lahan baru secara signifikan, berikut merupakan gambaran area TPS3R Nitikan yang berpotensi dilakukan pengembangan dalam upaya pengolahan sampah organik kota Yogyakarta:



Gambar 4. 11 Area TPS3R Nitikan Umbulharjo (Google Earth, 2025)

4.5 Kajian Aspek Ekonomi Penerapan Alternatif Bioteknologi

Aspek finansial yang didasarkan pada asumsi skenario dengan kapasitas pengolahan dari potensi sampah yang dapat diolah, produk hasil pengolahan sampah organik menggunakan beberapa opsi bioteknologi yang berupa kompos, *fresh* maggot, pupuk cair, biogas, dirancang untuk disalurkan terhadap sektor pertanian kota, peternakan lokal, fasilitas umum, juga dijual melalui koperasi sampah dan pertanian juga platform digital, pemerintah juga mendorong kolaborasi dengan BUMD dan komunitas agar memastikan produk terserap secara optimal.

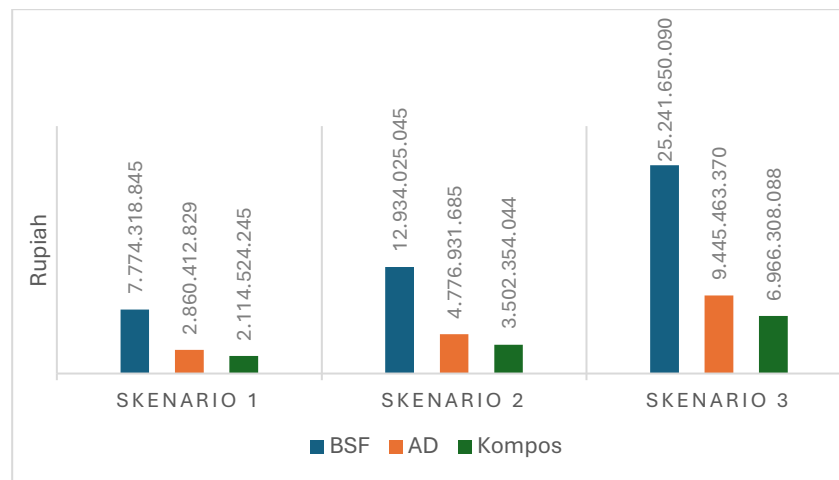
Selain itu, industri pakan ternak skala besar seperti PT Charoen Pokphand Indonesia dan PT Japfa Comfeed, maupun produsen pakan skala kecil dan menengah, berpeluang memanfaatkan maggot sebagai bahan baku alternatif. Kelompok usaha ternak mandiri berbasis desa juga berpotensi menjadi konsumen utama karena maggot mampu menekan biaya pakan. Pada sisi pemerintah, penyerap potensial meliputi Dinas Perikanan dan Kelautan serta Dinas Peternakan, yang dapat memanfaatkan maggot dalam program bantuan pakan alternatif. Selain itu, lembaga teknis seperti Balai Besar Perikanan Budidaya Air Tawar (BBPBAT) juga dapat menjadi pengguna langsung untuk mendukung riset maupun distribusi pakan ke pembudidaya sedangkan untuk produk yang berupa pupuk dapat diserap oleh petani, serta UMKM yang bergerak

dalam produksi pertanian organik untuk pasar modern dan ekspor, dari sisi pemerintah, pupuk organik berpotensi diserap dalam program subsidi pupuk organik oleh Dinas Pertanian, serta dalam kegiatan pemulihan lahan kritis oleh Perhutani atau KPH (Kesatuan Pengelolaan Hutan). Pemerintah kota maupun kabupaten juga dapat menjadi konsumen untuk pemeliharaan taman kota dan ruang terbuka hijau. Lebih jauh, BUMN pertanian seperti PT Pupuk Indonesia dapat berperan dalam distribusi maupun kemitraan pemasaran pupuk organik berskala nasional.

Aspek finansial dimulai dengan membuat estimasi kebutuhan investasi awal, kebutuhan investasi aset, harga pokok produksi, laporan laba rugi, kemudian dihitung *NPV*, *IRR* dan *PP*, dan untuk data perhitungan lebih lengkap dapat dilihat pada [Lampiran L](#), berikut merupakan hasil perhitungan aspek ekonomi penerapan alternatif bioteknologi yang dipilih:

A. Estimasi Kebutuhan Investasi

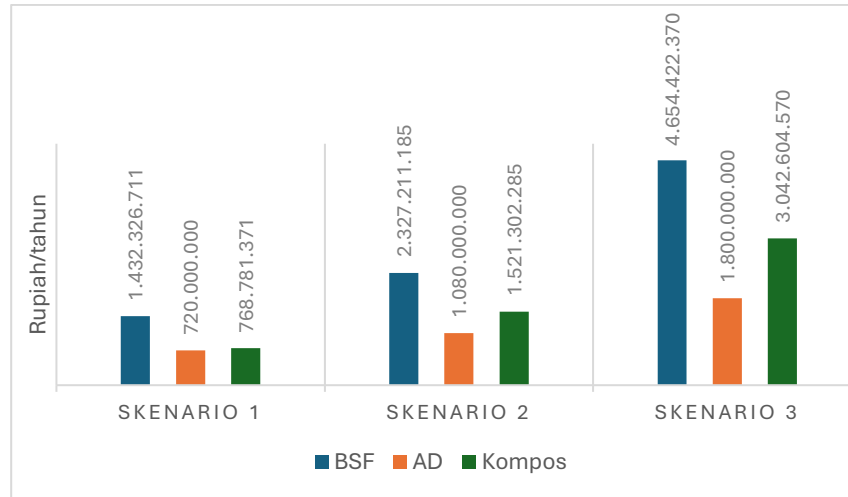
Ini merupakan kebutuhan yang digunakan untuk kegiatan operasional, dan kebutuhan aset tetap seperti bahan baku, kebutuhan mesin, kebutuhan peralatan, kebutuhan bangunan menggunakan asumsi yang berdasarkan penelusuran harga peralatan untuk kebutuhan di berbagai *platform marketplace* (Tokopedia,Shopee,Bukalapak,dll) pada bulan Juni 2025. Rekapitulasi total kebutuhan aset tetap setiap opsi pengolahan disajikan dalam tabel seperti berikut:



Gambar 4. 12 Rekapitulasi Estimasi Kebutuhan Investasi Aset Tetap (Hasil Perhitungan, 2025)

B. Harga Pokok Produksi

Pengestimasian harga pokok dalam sistem pengolahan sampah menggunakan beberapa opsi pengolahan dengan kapasitas pengolahan sampah dari beberapa skenario yang ada, estimasi harga pokok produksi disajikan dalam tabel berikut:

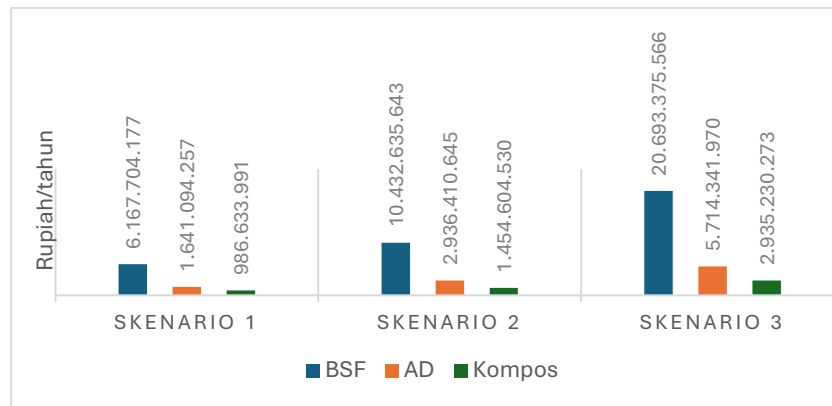


Gambar 4. 13 Rekapitulasi Estimasi Harga Pokok Produksi (Hasil Perhitungan, 2025)

Tabel estimasi harga pokok produksi untuk kebutuhan packing produk menampilkan kebutuhan seperti karung dan jerigen plastik, upah dalam kebutuhan skala perhari, perbulan dan pertahun.

C. Estimasi Laporan Laba/Rugi

Pengestimasian laporan laba/rugi per tahun dibuat berdasarkan hasil pengolahan sampah yang dilakukan, selanjutnya untuk target penjualan dari hasil produksi dimana target penjualan adalah petani atau masyarakat, asumsi harga ini adalah harga jual di bawah harga pasar saat ini, penyusutan didasarkan pada asumsi umur aset tetap selama 10 tahun dan dihitung menggunakan metode garis lurus sehingga penyusutan per tahun dari total investasi aset tetap, berdasarkan asumsi yang sudah dijelaskan dapat dilihat bahwa estimasi laba minimum per tahun hasil yang didapat dari penjualan produk beberapa opsi pengolahan menggunakan bioteknologi adalah sebagai berikut:

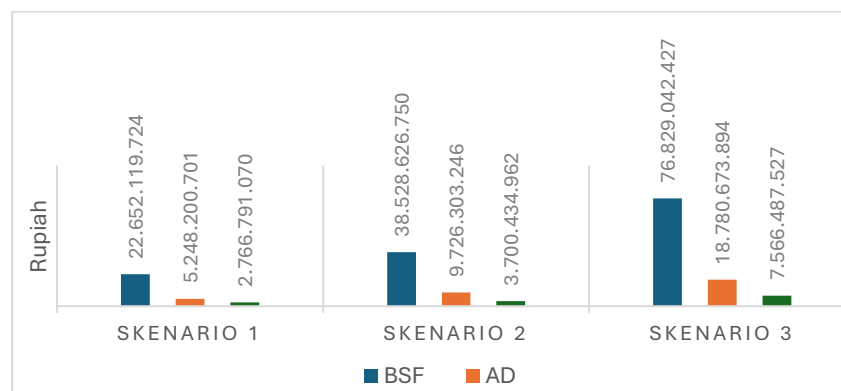


Gambar 4. 14 Rekapitulasi Estimasi Laporan Laba/Rugi (Hasil Perhitungan, 2025)

Laba ini diperoleh menggunakan asumsi semua produk yang dihasilkan tersalurkan secara menyeluruh.

D. Net Present Value (NPV)

Merupakan perkiraan laba yang akan dihasilkan dari usaha, atau penanaman modal, ini merupakan alat atau cara untuk mengukur peluang investasi yang dilakukan apakah investasi tersebut layak dilakukan atau tidak, nilai npv adalah selisih antara nilai arus kas yang masuk dengan nilai arus kas yang keluar pada sebuah proyek dalam periode waktu, Nilai NPV dikatakan layak jika lebih besar dari angka nol atau positif, Jika diasumsikan tingkat keuntungan yang disyaratkan adalah 5% untuk perhitungan npv yang merupakan bunga deposito sebesar 5% maka nilai npv untuk pengolahan sampah menggunakan bioteknologi dapat disajikan pada tabel berikut:

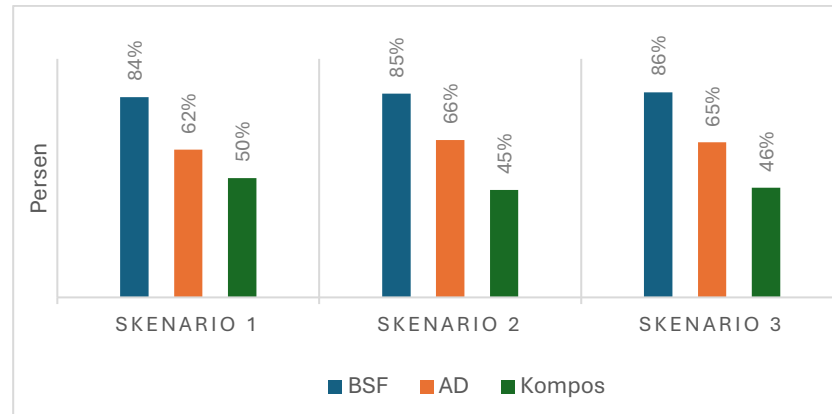


Gambar 4. 15 Rekapitulasi Estimasi Net Present Value (NPV) Operasional 10 tahun (Hasil Perhitungan, 2025)

Nilai positif NPV yang tinggi menunjukkan bahwa pendirian fasilitas pengelolaan sampah merupakan proyek yang cukup menjanjikan dan dapat dijalankan.

E. Internal Rate of Return (IRR)

Sebuah investasi dapat dilakukan apabila laju pengembaliannya lebih besar daripada laju pengembalian apabila melakukan investasi di tempat lain, nilai minimal irr adalah sama dengan opportunity cost + resiko, kemudian dihitung dengan menentukan Berapa besar nilai tingkat keuntungan yang disyaratkan menyebabkan nilai NPV sama dengan angka 0, IRR dari investasi ini adalah sebagai berikut:

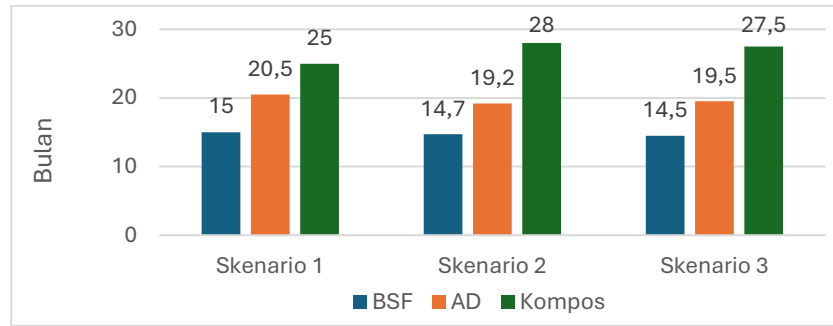


Gambar 4. 16 Rekapitulasi Estimasi *Internal Rate of Return (IRR)* dalam operasional 10 Tahun (Hasil Perhitungan, 2025)

Dari nilai-nilai tersebut yang mana merupakan nilai yang jauh lebih besar dari tingkat keuntungan yang disyaratkan yaitu sebesar 5% sehingga investasi layak untuk dilaksanakan, namun ada tingkatan dari yang lebih besar ke yang lebih kecil.

F. Payback Period (PP)

Payback period bisa dihitung berdasarkan net benefit kumulatif dan net benefit rata-rata setiap tahun dari pengolahan yang dilakukan, perhitungan *Payback period* menggunakan data yang telah di diskonkan, PP dari proyek dapat dihitung sebagaimana yang tertampil dalam tabel berikut:



Gambar 4. 17 Rekapitulasi Estimasi *Payback Period (PP)* (Hasil Perhitungan, 2025)

Dari nilai diatas dapat dilihat berbagai macam nilai *Payback Period* dari beberapa opsi pengolahan sampah, periode yang jauh lebih kecil dari estimasi umur investasi selama 10 tahun. Sehingga proyek investasi ini layak untuk dilaksanakan namun ada tingkatan didalamnya, dapat dilihat bahwa penggunaan alternatif BSF menunjukkan estimasi *Payback Period* yang lebih cepat dibanding alternatif lainnya.

4.6 Kajian Aspek Lingkungan Penerapan Alternatif Bioteknologi

Kriteria aspek lingkungan terkait dengan kompatibilitas teknologi pengolahan dengan wilayah sekitarnya. Pada aspek lingkungan, kriteria yang dipertimbangkan diantaranya:

1. Potensi Timbulan Bau dan Vektor Penyakit
2. Risiko Emisi

4.6.1 Potensi Timbulan Bau dan Vektor Penyakit

Risiko bau dan vektor penyakit berarti berbagai kemungkinan dari tahapan pada proses pengolahan sampah secara bioteknologi (Biokonversi dengan larva BSF, *Anaerobic Digestion/Biogas*, Pengomposan) yang dapat menghasilkan bau dan menjadi vektor penyakit. Analisis timbulan bau dan vektor penyakit ini mempertimbangkan dampak yang ditimbulkan pada pekerja dan petugas pengolahan sampah. Penjelasan mengenai bau dan vektor penyakit pada proses pengolahan sampah secara bioteknologi dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Rekapitulasi Timbulan Bau dan Vektor Penyakit Penggunaan Bioteknologi

BSF	<i>Anaerobic Digestion</i>	Pengomposan
Dari kegiatan yang dilakukan penggunaan BSF memiliki potensi penyebaran bau yang rendah dan berpotensi rendah menjadi vektor penyakit karena larva maggot mengurai sampah organik dalam waktu yang singkat	Dari kegiatan pengolahan sampah dengan <i>Anaerobic Digestion</i> , metode ini menghasilkan risiko persebaran bau apabila digester terjadi kebocoran dan menjadi vektor penyakit yang cukup beresiko	Apabila suplai udara cukup, proses tidak menghasilkan bau, proses pengomposan cukup berpotensi mendatangkan lalat sebagai vektor penyakit karena terjadinya tumpukan sampah secara terbuka

(Sri *et al.*, 2021), (Selm, 2018), (*Emerg. Sci. Innovation*, 2023)

4.6.2 Risiko Emisi

Penilaian risiko emisi dari setiap alternatif dilakukan dengan memperhitungkan kebutuhan sumber daya dalam setiap proses (*input*) dan keluaran dari proses (*output*). *input* dan *output* dari masing-masing alternatif bioteknologi ditentukan dari setiap proses dan peralatan yang digunakan. Berdasarkan hasil perhitungan beban emisi terlihat bahwa alternatif bioteknologi menghasilkan emisi gas baik dari proses pre-treatment maupun proses pengolahannya. Kandungan zat pada emisi gas masing-masing alternatif bioteknologi juga berbeda karena masing-masing alternatif bioteknologi terdiri dari proses yang berbeda-beda, data lebih lengkap dapat dilihat pada [Lampiran M](#).

A. Biokonversi Larva BSF

Pada proses biokonversi dengan larva BSF dihasilkan emisi berupa gas CH₄ (metana) dan N₂O (dinitrogen oksida). Pada proses pre-treatment pencacahan dihasilkan emisi gas CO₂ (karbon dioksida) dari pengoperasian mesin pencacah. Diagram alir pembentukan emisi gas pada proses biokonversi larva BSF dapat dilihat pada gambar berikut:

1. Skenario 1

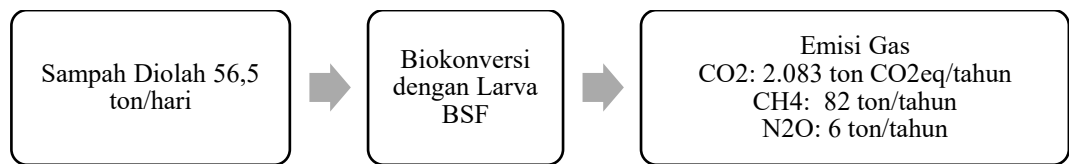
Diagram alir pembentukan emisi gas pada penggunaan BSF skenario 1 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 18 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan Biokonversi Larva BSF Skenario 1 (Hasil Perhitungan, 2025)

2. Skenario 2

Diagram alir pembentukan emisi gas pada penggunaan BSF skenario 2 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 19 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan Biokonversi Larva BSF Skenario 2 (Hasil Perhitungan, 2025)

3. Skenario 3

Diagram alir pembentukan emisi gas pada penggunaan BSF skenario 3 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 20 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan Biokonversi Larva BSF Skenario 3 (Hasil Perhitungan, 2025)

Gas CH₄ dan N₂O yang dihasilkan dari proses biokonversi tergolong rendah dan bersumber dari aktivitas biodegradasi materi organik pada sampah. Gas yang lepas ke udara dalam kuantitas kecil tidak berbahaya bagi lingkungan.

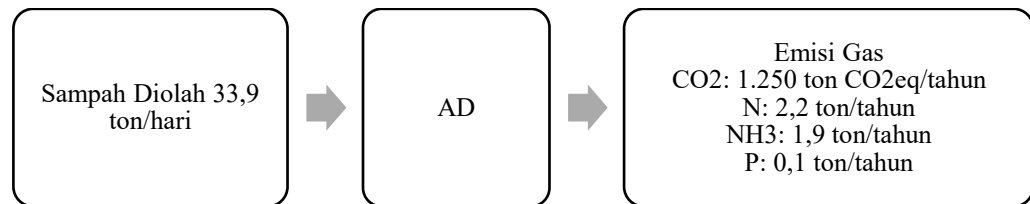
B . Anaerobic Digestion (AD)/Biogas

Implementasi AD pada dasarnya terjadi dalam suatu sistem tertutup. Kontrol gas yang dihasilkan dapat diatur dengan konstruksi reaktor yang tepat dan kondisi pemberian substrat pada reaktor. Namun demikian teknologi AD masih menimbulkan gas emisi berupa N (Nitrogen), NH₃ (Amonia), dan P (Fosfor), Pada proses pre-treatment

pencacahan dihasilkan emisi gas CO₂ (karbon dioksida) dari pengoperasian mesin pencacah. Gas yang dihasilkan pada proses AD tidak sepenuhnya lepas ke udara karena proses terjadi pada reaktor kedap. Diagram alir pembentukan emisi gas pada proses AD dalam beberapa skenario dapat dilihat pada gambar berikut:

1. Skenario 1

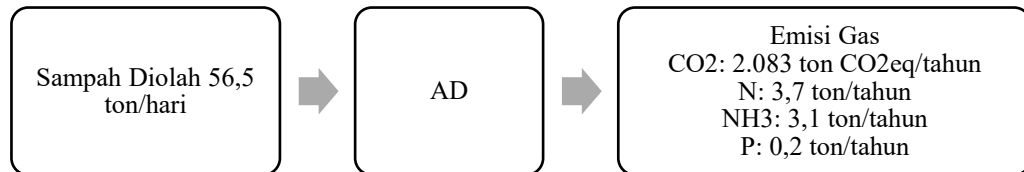
Diagram alir pembentukan emisi gas pada proses AD skenario 1 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 21 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan *Anaerobic Digestion* Skenario 1 (Hasil Perhitungan, 2025)

2. Skenario 2

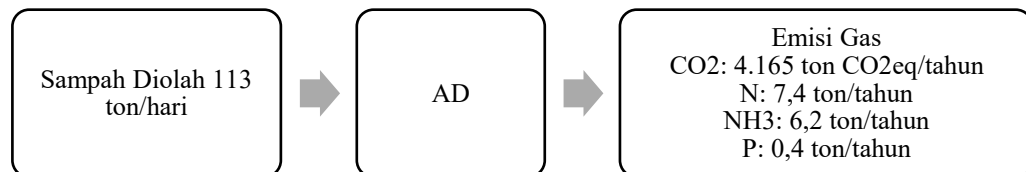
Diagram alir pembentukan emisi gas pada proses AD skenario 2 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 22 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan *Anaerobic Digestion* Skenario 2 (Hasil Perhitungan, 2025)

3. Skenario 3

Diagram alir pembentukan emisi gas pada proses AD skenario 3 dapat dilihat pada gambar berikut:



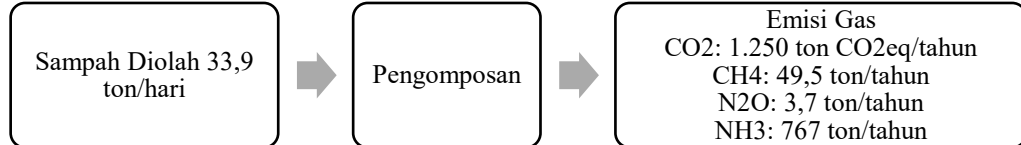
Gambar 4. 23 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan *Anaerobic Digestion* Skenario 3 (Hasil Perhitungan, 2025)

C. Pengomposan

Proses pengomposan merupakan proses degradasi materi organik pada sampah yang dilakukan dalam kondisi aerob pada ruang terbuka. Proses degradasi oleh mikroorganismenya ini akan melepas emisi gas ke udara. Emisi gas yang dihasilkan terdiri dari CH₄, N₂O, NH₃. Pada proses pre-treatment pencacahan dihasilkan emisi gas CO₂ (karbon dioksida) dari pengoperasian mesin pencacah. Diagram alir pembentukan emisi gas pada proses pengomposan dapat dilihat pada gambar berikut.

1. Skenario 1

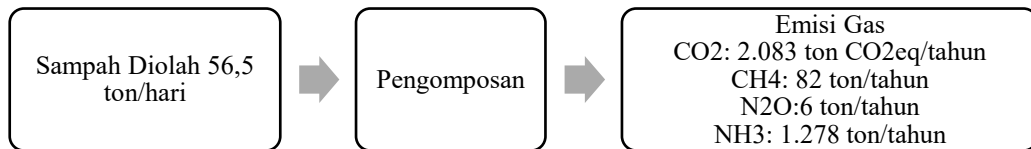
Diagram alir pembentukan emisi gas pada proses pengomposan skenario 1 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 24 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan Pengomposan skenario 1 (Hasil Perhitungan, 2025).

2. Skenario 2

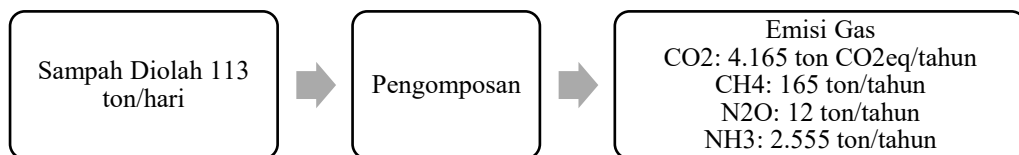
Diagram alir pembentukan emisi gas pada proses pengomposan skenario 2 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 25 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan Pengomposan skenario 2 (Hasil Perhitungan, 2025)

3. Skenario 3

Diagram alir pembentukan emisi gas pada proses pengomposan skenario 3 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. 26 Risiko Emisi Pengolahan menggunakan Pengomposan skenario 3 (Hasil Perhitungan, 2025)

4.7 Kajian Aspek Sosial Penerapan Alternatif Bioteknologi

Berikutnya aspek sosial merupakan suatu aspek yang memperhitungkan nilai penting antara masyarakat dan beberapa poin yang harus dipertimbangkan diantaranya adalah sebagai berikut:

4.7.1 Potensi Konflik Antara Masyarakat

Keberhasilan sistem pengolahan sangat bergantung dari partisipasi masyarakat, munculnya konflik antara masyarakat menurut para ahli sosial karena adanya hubungan sosial, ekonomi dan politik yang berakar dari perebutan sumber-sumber pemikiran, kekuasaan dan status sosial yang jumlahnya sangat terbatas akan menimbulkan pembagian yang tidak merata pada masyarakat, Karena penggunaan bioteknologi pada pengolahan sampah organik Kota Yogyakarta baik secara langsung maupun tidak langsung akan berpengaruh terhadap kegiatan yang telah ada sebelumnya.

Faktor penyebab terjadinya penolakan karena kurangnya partisipasi masyarakat dan sosialisasi yang kurang memadai (Abdullah *et al.*, 2023), studi di area TPA Piyungan, dimana terjadi tidakadilan sosial dan ketimpangan sosial, selain itu, beban lingkungan terhadap masyarakat sekitar lokasi TPA juga harus di perhatikan (Silvia, 2024). Rencana pengolahan secara bioteknologi akan membuat perubahan pada sistem dropping sampah ke lokasi pengolahan, sampah akan dilakukan pemilihan terlebih dahulu, sistem bioteknologi pada dasarnya hanya akan memanfaatkan sampah organik sedangkan sampah lainnya diolah dengan sistem pengolahan yang lain.

Oleh sebab itu agar tidak terjadi kesalahpahaman antara masyarakat maka perlu diadakannya suatu sosialisasi dan penjelasan kepada masyarakat terkait kegiatan yang akan dilakukan dan melibatkan tokoh masyarakat, diharapkan agar masyarakat dapat bekerja sama dalam upaya pengolahan sampah organik yang sedang direncanakan (Pambudi, 2024) dan akan lebih berpotensi untuk berjalan apabila dalam partisipasinya diberi kompensasi ekonomi (Yuniastuti *et al.*, 2021).

4.7.2 Kesiapan SDM dalam Pengoperasian Teknologi

Berdasarkan dari dokumen Bappenas tentang KPBU dan pedoman kelembagaan atau pendanaan layanan publik, yang berhak untuk menjalankan manajemen fasilitas umum ditentukan oleh skema kelembagaan dan pembiayaan yang dipilih dalam studi kelayakan, untuk fasilitas pengolahan sampah organik skala kota Yogyakarta Berikut merupakan kandidat pengelola yang dan dasar penetapannya adalah sebagai berikut:

1. Dikelola langsung oleh Pemda (DLH/UPTD/BLUD) , Walikota Yogyakarta sebagai penanggung jawab proyek bila proyek dikaji sebagai KPBU atau sebagai pemilik aset jika sebagai non KPBU, UPTD (unit pelaksana teknis daerah) persampahan di bawah DLH sebagai operatornya, dan dapat ditingkatkan menjadi BLUD (Badan Layanan Umum Daerah), Fasilitas dapat dikelola penuh oleh Pemda apabila pendanaan dominan berdasarkan APBD, dan apabila Pemda ingin kendali penuh atas operasi fasilitas tersebut.
2. Penugasan ke BUMD (Badan Usaha Milik daerah) Dapat menjadi opsi sebagai pejalan atau pengelola fasilitas jika peraturan sektoral mengizinkan, dan sebagai operatornya adalah dari Perumda (perusahaan umum daerah) persampahan apabila sudah terbentuk atau akan dibentuk, Hal ini dapat dipilih Jika perlu korporatisasi layanan yang lebih fleksibel untuk investasi namun tetap milik daerah.
3. KPBU(Kerjasama Pemerintah-Badan Usaha) dapat menjadi opsi sebagai pengelola fasilitas dengan penanggung jawabnya adalah Walikota Yogyakarta, dan penetapan operator melalui tender yang memilih pelaksana yang membangun, mengoperasikan, dan memelihara sesuai kontrak, mekanisme dan tahapan diatur rinci dalam permen PPN/ Bappenas nomor 7/ 2023, yang merupakan pembaruan dari permen 4/ tahun 2015.

Dalam perencanaan pengolahan sampah organik Kota Yogyakarta, pengolahan bioteknologi membutuhkan pekerja dan juga kualifikasi yang disesuaikan dengan tahapan proses pengolahan pada masing-masing pengolahan, Kebutuhan sumber daya manusia dapat dilihat pada penjelasan berikut, menurut Permendagri nomor 7 tahun 2021, jumlah operator atau jumlah pekerja dihitung dengan ketentuan minimal jumlah

operator sebanyak 3 orang dan penambahan jumlah operator diasumsikan 1 orang untuk setiap ton yang masuk dan akan diolah, menurut ketentuan tersebut, kebutuhan tenaga operasional adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 9 Jumlah Kebutuhan SDM Untuk Pengoperasian Sistem Pengolahan Sampah

Beban Pengolahan	Kebutuhan operator metode BSF, <i>Anaerobic Digestion</i> , Pengomposan
Skenario 1 pengolahan 33,9 ton/hari	34 orang
Skenario 2 pengolahan 56,5 ton/hari	57 orang
Skenario 3 pengolahan 113 ton/hari	113 orang

(Permendagri No.7 tahun 2021)

4.8 Penilaian Aspek-Aspek Penerapan Alternatif Bioteknologi

Setelah kajian terkait studi kelayakan dari beberapa opsi pengolahan sampah organik, selanjutnya dilakukan penilaian terkait aspek-aspek penerapan alternatif bioteknologi untuk nantinya akan diketahui metode yang memiliki *value* yang lebih besar dalam pengolahannya, metode yang digunakan adalah metode *grid analysis*, dimana metode ini adalah suatu metode yang bermanfaat dalam pengambilan keputusan dengan beberapa faktor yang dipertimbangkan, perhitungan lanjut mengenai pemilihan opsi pengolahan sampah organik menggunakan metode *grid analysis* mendapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 10 Rekapitulasi Aspek Studi Kelayakan Opsi Bioteknologi

Pilihan Teknologi Faktor	Biokonversi dengan Larva BSF	<i>Anaerobic Digestion (AD)</i> /Biogas	Pengomposan
Teknis			
Potensi Pengolahan Sampah	Berpotensi mengolah sampah organik	Berpotensi mengolah sampah organik	Berpotensi mengolah sampah organik
Kompleksitas Proses	Tergolong sederhana tidak membutuhkan teknologi khusus dalam pengolahannya	Tergolong kompleks karena membutuhkan teknologi khusus dalam pengolahannya	Tergolong sederhana karen tidak membutuhkan teknologi khusus dalam pengolahannya
Waktu Pengolahan	±21 hari	±30 hari	±45 hari
Tingkat Reduksi dan Konversi Sampah	Skenario 1, beban pengolahan 33,9 ton/hari Berpotensi menghasilkan: A. Pupuk organik padat ± 10,16 ton/hari B. Pupuk organik cair ± 2,54 m ³ /hari C. Pakan ternak ± 13,5 ton/hari	Skenario 1 beban pengolahan 33,9 ton/hari Berpotensi menghasilkan: Biogas ± 3.387 m ³ /hari	Skenario 1, beban pengolahan 33,9 ton/hari Berpotensi menghasilkan: Pupuk Kompos ± 4,5 ton/hari
	Skenario 2, beban pengolahan 56,5 ton/hari berpotensi menghasilkan A. Pupuk organik padat ± 16,9 ton/hari B. Pupuk organik cair ± 4,23 m ³ /hari C. Pakan ternak ± 22,6 ton/hari	Skenario 2, beban pengolahan 56,5 ton/hari berpotensi menghasilkan Biogas ± 5.646 m ³ /hari	Skenario 2, beban pengolahan 56,5 ton/hari Berpotensi menghasilkan: Pupuk Kompos ± 7,5 ton/hari
	Skenario 3, beban pengolahan 113 ton/hari berpotensi menghasilkan	Skenario 3 beban pengolahan 113 ton/hari berpotensi menghasilkan	Skenario 3 beban pengolahan 113 ton/hari Berpotensi menghasilkan:

Pilihan Teknologi Faktor	Biokonversi dengan Larva BSF	<i>Anaerobic Digestion (AD)</i> /Biogas	Pengomposan
	A. Pupuk organik padat ± 33,9 ton/hari B. Pupuk organik cair ± 8,47 m ³ /hari C. Pakan ternak ± 45,2 ton/hari	Biogas ± 11.292 m ³ /hari	Pupuk Kompos ± 15,1 ton/hari
Luas Area atau Lahan	Skenario 1 = ± 3.272 m ²	Skenario 1 = ± 9.273 m ²	Skenario 1 = ± 7.237 m ²
	Skenario 2 = ± 5.395 m ²	Skenario 2 = ± 15.395 m ²	Skenario 2 = ± 11.995 m ²
	Skenario 3 = ± 10.651 m ²	Skenario 3 = ± 30.651 m ²	Skenario 3 = ± 23.852 m ²
Ekonomi			
Nilai Investasi Terjangkau	Skenario 1 Nilai Investasi Rp. 7.774.318.845 dengan PP ±15 bulan dengan asumsi produk terjual semua	Skenario 1 Nilai Investasi Rp 2.860.412.829 dengan PP ± 20,5 bulan dengan asumsi produk terjual semua	Skenario 1 Nilai Investasi Rp. 2.114.524.245 dengan PP ±25 bulan dengan asumsi produk terjual semua
	Skenario 2 Nilai Investasi Rp. 12.934.025.045 dengan PP ±14,7 bulan dengan asumsi produk terjual semua	Skenario 2 Nilai Investasi Rp. 4.776.931.685 dengan PP ± 19,2 bulan dengan asumsi produk terjual semua	Skenario 2 Nilai Investasi Rp. 3.502.354.044 3.958.366.370 dengan PP ±28 bulan dengan asumsi produk terjual semua
	Skenario 3 Nilai Investasi Rp. 25.241.650.090 dengan PP ±14,5 bulan dengan asumsi produk terjual semua	Skenario 3 Nilai Investasi Rp. 9.445.463.370 dengan PP ± 19,5 bulan dengan asumsi produk terjual semua	Skenario 3 Nilai Investasi Rp. 6.966.308.088 dengan PP ±27,5 bulan dengan asumsi produk terjual semua
Nilai Keuntungan Pertahun	Skenario 1 berpotensi laba Rp. 6.167.704.177 /tahun, dengan asumsi produk terjual semua	Skenario 1 berpotensi laba Rp 1.641.094.257 /tahun, dengan asumsi produk terjual semua	Skenario 1 berpotensi laba Rp. 986.633.991 /tahun, dengan asumsi produk terjual semua

Pilihan Teknologi Faktor	Biokonversi dengan Larva BSF	<i>Anaerobic Digestion (AD)</i>/Biogas	Pengomposan
	Skenario 2 berpotensi laba Rp. 10.432.635.643 /tahun, dengan asumsi produk terjual semua	Skenario 2 berpotensi laba Rp 2.936.410.645 /tahun, dengan asumsi produk terjual semua	Skenario 2 berpotensi laba Rp. 1.454.604.530 /tahun, dengan asumsi produk terjual semua
	Skenario 3 berpotensi laba Rp. 20.693.375.566 /tahun, dengan asumsi produk terjual semua	Skenario 3 berpotensi laba Rp. 5.714.341.970 /tahun, dengan asumsi produk terjual semua	Skenario 3 berpotensi laba Rp. 2.935.230.273 /tahun, dengan asumsi produk terjual semua
Lingkungan			
Risiko Vektor Penyakit dan Bau	Menimbulkan Risiko Vektor Penyakit dan Bau Rendah.	Cukup Berpotensi Menimbulkan Risiko Vektor Penyakit dan Bau.	Cukup Berpotensi Menimbulkan Risiko Vektor Penyakit dan Bau
Risiko Emisi Gas	Menimbulkan emisi gas CO ₂ , CH ₄ , dan N ₂ O	Menimbulkan emisi gas CO ₂ , NH ₃ , N, dan P	Menimbulkan emisi gas CO ₂ , CH ₄ , dan N ₂ O
Sosial			
Potensi Konflik Antara Masyarakat	Berpotensi rendah menimbulkan konflik antar masyarakat	Berpotensi rendah menimbulkan konflik antar masyarakat	Berpotensi rendah menimbulkan konflik antar masyarakat
Kebutuhan SDM dalam Pengoperasian	Pada prosesnya tidak membutuhkan SDM dengan keterampilan dan ilmu khusus	Pada prosesnya membutuhkan SDM dengan keterampilan dan ilmu khusus	Pada prosesnya tidak membutuhkan SDM dengan keterampilan dan ilmu khusus

Hasil analisis pada tabel diatas kemudian akan diberikan bobot bagi masing-masing alternatif Bioteknologi. Nilai bobot setiap aspek penilaian dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 11 Penilaian Aspek Studi Kelayakan Opsi Bioteknologi (Hasil Perhitungan, 2025)

Pilihan Teknologi Faktor	Biokonversi dengan Larva BSF	<i>Anaerobic Digestion</i> (AD)/Biogas	Pengomposan
Teknis			
Potensi Pengolahan Sampah	5	5	5
Tingkat Reduksi Sampah	5	4	3
Kompleksitas Proses	5	1	5
Waktu Pengolahan	5	4	3
Kebutuhan Lahan	5	3	4
Ekonomi			
Nilai Investasi yang terjangkau	3	4	5
Nilai Keuntungan yang tinggi	5	4	3
Lingkungan			
Risiko Vektor Penyakit dan Bau	3	3	3
Risiko Emisi	3	3	3
Sosial			
Potensi Konflik Antara Masyarakat	5	5	5
Kebutuhan SDM dalam Pengoperasian Teknologi	5	3	5

Hasil analisis penerapan alternatif bioteknologi di Kota Yogyakarta pada tabel diatas kemudian diberikan penilaian (bobot) sesuai dengan analisis yang didapat. Nilai bobot (Weighting Factor) masing-masing aspek dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 12 Nilai bobot (*Weighting Factor*) Pemilihan opsi bioteknologi (Hasil Perhitungan, 2025)

Faktor	Weighting Factor
Aspek Teknis	
Potensi Pengolahan Sampah	5
Tingkat Reduksi Sampah	4
Kompleksitas Proses	4
Waktu Pengolahan	4
Luas Area atau Lahan	4
Aspek Ekonomi	
Nilai Investasi yang terjangkau	5
Nilai Keuntungan yang tinggi	3
Aspek Lingkungan	
Risiko Vektor Penyakit dan Bau	4
Risiko Emisi	4
Aspek Sosial	
Potensi Konflik Antara Masyarakat	4
Kebutuhan SDM dalam Pengoperasian Teknologi	4

Untuk dapat melihat hasil akhir nilai pembobotan atas setiap aspek yang direncanakan, Nilai dari setiap alternatif bioteknologi (Tabel 4.8) dikalikan dengan bobot masing-masing aspek (Tabel 4.9). Hasil penilaian Grid Analysis yang didapat adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 13 Nilai Akhir Penilaian Aspek Studi Kelayakan Opsi Bioteknologi (Hasil Perhitungan, 2025)

Pilihan Teknologi	Weight Factor	Penilaian BSF	Penilaian Akhir BSF	Penilaian AD	Penilaian Akhir AD	Penilaian Kompos	Penilaian Akhir Kompos
Faktor	1	2	1x2	3	1x3	4	1x4
Teknis							
Potensi Pengolahan Sampah	5	5	25	5	25	5	25
Tingkat Reduksi Sampah	4	5	20	4	16	3	12
Kompleksitas Proses	4	5	20	1	4	5	20
Waktu Pengolahan	4	5	20	4	16	3	12
Luas Area Atau Lahan	4	5	20	3	12	4	16
Ekonomi							
Nlai Investasi yang Terjangkau	5	3	15	4	20	5	25
Nilai Keuntungan yang Tinggi	3	5	15	4	12	3	9
Lingkungan							
Risiko Vektor Penyakit dan Bau	4	3	12	3	12	3	12
Risiko Emisi	4	3	12	3	12	3	12
Sosial							
Potensi Konflik Antara Masyarakat	4	5	20	5	20	5	20
Kebutuhan SDM Dalam Pengoperasian Teknologi	4	5	20	3	12	5	20
Jumlah		49	199	39	161	44	183

Berdasarkan metode *grid analysis* dalam penilaian pemilihan bioteknologi yang akan diterapkan pada sampah Kota Yogyakarta dengan melakukan penilaian skor dari beberapa aspek terhadap pembobotan yang ditetapkan, maka di dapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Nilai Akhir *Grid Analysis* Penilaian Aspek Studi Kelayakan Opsi Bioteknologi (Hasil Perhitungan, 2025)

No.	Alternatif	Nilai	Peringkat
1	Biokonversi Menggunakan BSF	199	1
2	<i>Anaerobic Digestion</i>	161	3
3	Pengomposan	183	2

Alternatif bioteknologi menggunakan larva BSF mendapatkan nilai tertinggi yaitu 199 diikuti oleh teknologi Pengomposan dengan nilai 183, dan di peringkat ke-3 dengan *Anaerobic Digestion* dengan nilai 161, Berdasarkan hasil analisa menggunakan metode *grid analysis* didapatkan nilai tertinggi dari pemilihan bioteknologi yang direkomendasikan untuk diterapkan di Kota Yogyakarta yaitu **Pengolahan Sampah Organik Menggunakan Larva Black Soldier Fly**

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kajian Studi kelayakan yang mencakup kajian dari beberapa aspek didalamnya (Teknis, Ekonomi, Lingkungan dan Sosial) kepada opsi pengolahan sampah organik Kota Yogyakarta menggunakan metode bioteknologi yang sudah ditentukan, maka didapat kesimpulan sebagai berikut:

- A. Dari Penilaian yang dilakukan menggunakan metode *grid analysis*, opsi penggunaan bioteknologi menggunakan larva BSF mendapat peringkat pertama, mendapatkan nilai tertinggi yaitu 199, di posisi kedua oleh teknologi Pengomposan dengan nilai 183, dan di peringkat ke-3 dengan *Anaerobic Digestion* dengan nilai 161, penilaian berdasarkan beberapa aspek studi kelayakan (Aspek teknis, Ekonomi, Lingkungan dan Sosial) yang disesuaikan dengan kondisi timbulan, komposisi, karakteristik dan potensi daur ulang sampah Kota Yogyakarta.
- B. Penggunaan Bioteknologi menggunakan bioreaktor Larva BSF dapat menghasilkan beberapa produk akhir yang diharapkan dapat menunjang kegiatan pertanian dan peternakan yaitu *fresh* maggot sebagai pakan ternak, pupuk organik padat, dan pupuk organik cair untuk kegiatan pertanian, dalam pengoperasiannya, berdasarkan aspek teknis dapat dilihat bahwa biokonversi menggunakan larva BSF merupakan pengolahan yang tergolong sederhana karena tidak membutuhkan teknologi khusus dan tidak membutuhkan SDM dengan keahlian khusus dalam pengaplikasiannya dan membutuhkan waktu yang lebih singkat dibanding opsi bioteknologi lainnya, dilihat dari aspek ekonomi, nilai NPV yang bernilai positif menandakan bahwa alternatif ini layak untuk dilaksanakan, berdasarkan aspek lingkungan dapat dilihat bahwa resiko emisi yang dihasilkan masih tergolong sedikit dan penggunaan larva BSF dalam pengolahan sampah tidak menimbulkan resiko bau dan vektor penyakit.

5.2 Saran

Dari hasil dan kesimpulan yang sudah tertera, berikut merupakan saran penelitian yang dapat dilakukan lebih lanjut:

- A. Kegiatan yang hanya mengolah satu jenis sampah dimana ini sangat berkaitan dengan proses pemilahan, perlu diadakan perencanaan sistem atau dilakukan penelitian lebih lanjut terkait sistem pengumpulan dan pemilahan dari sumber agar hasil yang dihasilkan dapat lebih optimal.
- B. Diperlukan materi terkait pelaksanaan dan program sosialisasi terkait pengolahan sampah kepada para pekerja agar kegiatan berjalan dengan baik.
- C. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait potensi penggunaan larva BSF selain dari bidang pertanian dan peternakan agar penggunaan larva BSF lebih bervariasi dan memberikan opsi yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Prasetyawan dan Yuni Lestari(2020) Pengambilan Keputusan. Unesa University Press, hal 60-66.
- Andriani, R., Muchdar, F., Juharni, J., M. Samadan, G., Alfishahrin. T, W., Abjan, K., & Margono, M. T. (2020). Teknik Kultur Maggot (*Hermetia Illucens*) pada Kelompok Budidaya Ikan di Kelurahan Kastela. *Altifani: International Journal of Community Engagement*, 1(1), 1–5
- Arifan, F., Abdullah, A., & Sumardiono, S. (2021). *Effect of organic waste addition into animal manure on biogas production using anaerobic digestion method. International Journal of Renewable Energy Development*, 10(3), 623–633.
- BeskiSSM, Swick RA, Iji PA. (2015). Specialised protein products in broiler chicken nutrition: A review. *Anim Nutr*. 1:47-53
- Budiyanto A, Purnomo CW, Sarastuti D, Alchusnah RH, Yusmiyati, Noviyani P. 2019. Pengolahan Sampah Organik Dengan *Black Soldier Fly* (BSF). Eawag – Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology Department . (1):9-21.
- Diener, S., Studt Solano, N. M., Roa Gutiérrez, F., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2011). Biological treatment of municipal organic waste using *Black Soldier Fly* larvae. *Waste and Biomass Valorization*, 2, 357-363.
- Dwiyantara, M. Y. (2021). Rancang Bangun Sistem Kontrol Fase Pembibitan Pada Budidaya Maggot *Black Soldier Fly* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Fahmi, M. R. (2015, March). Optimization of bioconversion by using mini larvae *Hermetia illucens* to address aquafeeds shortage. In *Prosiding Seminar Nasional Masyarakat Biodiversitas Indonesia* (Vol. 1, No. 1, pp. 139-144).
- Fauzi, M., & Muharram, L. H., 2019. Karakteristik Bioreduksi Sampah Organik oleh Maggot BSF (*Black Soldier Fly*) pada Berbagai Level Instar: Review. *Journal of Science, Technology and Entrepreneurship*, 1(2), 134–139.
- Ginanti, A., & Kusuma, T. Y. T. (2020). Implementasi Teknologi *Black Soldier Fly* Larvae (BSFL) untuk Pengolahan Sampah Organik di Desa Susukan, Banyumas. *APLIKASIA: Jurnal Aplikasi Ilmu-Ilmu Agama*, 20(2), 103-108.

- Guerrero E. B., 2010, Gentamicin-Collagen Sponge for Infection Prophylaxis in Colorectal Surgery, *The New England Journal of Medicine*, 363, 1038.
- Guerrero, G. Mass, and W. Hogland, "Solid waste management challenges for cities in developing countries," *Waste Manag.*, vol. 33, pp. 220–232, 2013.
- Hakim, A. R. 2017. Produksi Bahan Pakan Ikan dari Larva *Hermetia illucens* Berbasis Limbah Industri Pengolahan Ikan dan Kajian Keekonomiannya. Tesis. Universitas Gadjah Mada.
- Hardini, I. S. Y. P. K., Gandhy, A., & S Pi, M. M. (2021). *Budidaya Lele Menggunakan Pakan Tambahan Maggot*. Ahlimedia Book.
- Irham. (2011). *Strategi Pengambilan Keputusan*. Jakarta :Cipta Pustaka
- Kodrianingsih, W. L., Rispawati, R., & Alqadri, B. (2023). Strategi Pemerintah Desa dalam Meningkatkan Partisipasi Masyarakat terhadap Pembangunan di Desa Aikmel. *JIIP-Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, 6(7), 5384-5391.
- Lisa Fatmawati, 2017, Tingkat Densitas Populasi, Bobot, dan Panjang Maggot (*Hermetia illucens*) Pada Media Yang Berbeda, Skripsi, Universitas Islam Negeri Raden Inten
- Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal feed science and technology*, 197, 1-33.
- Nisa, K. (2018). Skrinning dan Aktivitas Enzim Bakteri Selulolitik yang Berasal dari Mingut Larva *Black Soldier Fly* (*Hermetia ellucens* L.) (Diptera:Stratiomyidae). Retrieved, from <https://repository.unej.ac.id/xmlui/handle/123456789/9384>
- Nugroho, Panji. 2013. *Panduan Membuat Kompos Cair*. Jakarta: Pustaka Baru Press
- Hikmat, Harry. 2013. *Strategi Pemberdayaan Masyarakat: cetakan keenam*. Bandung:Humaniora
- Nugroho, R. A., Rofiq, M. N., Santoso, A. D., Yanuar, A. I., Hanifa, R., & Nadirah, N. (2023). Bioconversion of biowaste by *Black Soldier Fly* larvae (*Hermetia illucens* L.) for dried larvae production: A life cycle assessment and environmental impact analysis. *F1000Research*, 12.
- Nuryaman, H., & A'yunin, N. A. Q. (2020). Edukasi Budidaya *Black Soldier Fly* (BSF) dalam Rangka Menciptakan Lapangan Kerja Baru dan Solusi Permasalahan Sampah di Area Pasar Manis Ciamis. *Dinamisia: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(4), 596-604.

- Popa, R., & Green, T. (2012). Diptera LCC eBook Biology and Ecology of the *Black Soldier Fly*. DiTerra LCC
- Putri, W. (2019). Kombinasi Kotoran Ayam Dan Ampas Tebu Dengan Persentase Berbeda Terhadap Pertumbuhan Dan Produksi Maggot (*Hermetia Illucens*) (Doctoral dissertation, Universitas Islam Riau).
- Rachmawati, D., & Nurhayati, D. (2022). Effect of fish meal replacement with earthworm and maggot meals on feed utilization and growth of Banana shrimp (*Penaeus merguensis*). *AAFL Bioflux*, 15(3), 1470-1478.
- Rahmawati., Buchori, D., Hidayat, P., Hem, S., Fahmi, M.R. 2010. Perkembangan dan Kandungan Nutrisi Larva *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) pada Bungkil Kelapa Sawit. *J. Entomol. Indon.*, Vol. 7, No.1, 28-41
- Raihan, M. A. (2022). Potensi Maggot Sebagai Pengurai Limbah Organik. dspace.uir.ac.id
- Rambet, V., Umbroh, J, F., Tulung, Y, L, R., & Kowel, Y, H, S. 2016. Kecernaan Protein dan Energi Ransum Boiler Yang Menggunakan Tepung Maggot (*Hermetia illucens*) Sebagai Pengganti Pakan Ikan. *Jurnal Zootehnik*. Nomor 1 Volume 36. Halaman 13–22.
- Rizal, Y. (2021, September). Peningkatan Produksi Budidaya Maggot dari Sampah Organik dengan Penerapan Desain Proteksi Hama. In *SNPKM: Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat* (Vol. 3, pp. 119-124).
- Salsabila, A. A., Yuliati, N., Suryani, D., & Ardiansyah, R. (2023). Budidaya Telur Maggot Lalat Black Soldier Flies (BSF) Skala Rumah Tangga Sebagai Pakan Ikan. *Jurnal Teknologi Pangan dan Ilmu Pertanian*, 1(2), 56-63.
- Sari, M. M., *et al.*, (2024). *Organic waste management in Tasikmalaya city, Indonesia. Ingenif*, (tentang biowaste menjadi pakan & pupuk).
- Supranto.2010. Teknik Pengambilan Keputusan. Jakarta : PT RinekaCipta
- Tomberlin JK, Sheppard DC, Joyce JA. 2002. Selected life-history traits of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) reared on three artificial diets. *Ann Entomol Soc Am* 95: 379-386.
- Tomberlin, J.K., P.H. Adler, and H.M. Myers. 2009. Development of the *Black Soldier Fly* (Diptera: Stratiomyidae) in Relation to Temperature. *Environ. Entomol.* 38(3):930-93

- Warburton K, Hallman V. 2002. Processing of material by the soldier fly, *Hermetia illucens*. In: Warburton K, McGarry UP, Ramage D. 2002. *Integrated Biosystem for Sustainable Development*. RIRDC Publication. Queensland
- Wardhana, A. H. (2016). *Black Soldier Fly* (*Hermetia illucens*) sebagai sumber protein alternatif untuk pakan ternak. *Wartazoa*, 26(2), 69-78.
- Yoga Bayu Pangestu (2022). *Desain Sarana Budidaya Lalat Black Soldier Fly (BSF)*. *Desain Produk*, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, *JURNAL NARADA* ISSN 2477-5134 Volume 9 edisi 2 September 2022
- Yuwono, A. S., Permana, I. G., Nurulalia, L., & Mentari, P. D. (2021). *Decomposition characteristics of selected solid organic wastes by Black Soldier Fly larvae as affected by temperature regimes*. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(5), 4343–4351.

LAMPIRAN

A. Jumlah Penduduk Berdasarkan BPS Kota Yogyakarta 2025

No	Tahun	Jumlah penduduk	kenaikan jumlah	Persentase
1	2021	375270		
2	2022	375520	250	0,07%
3	2023	375700	180	0,05%
4	2024	375780	80	0,02%
Jumlah		1502270	510	0,1%
Rata-rata		375567,5	170	0,0%

B. Proyeksi Mundur Metode Aritmatik dan Perhitungan Standar Deviasi

No	Tahun	Jumlah penduduk	Proyeksi Aritmatik
1	2021	375270	375270
2	2022	375520	375440
3	2023	375700	375610
4	2024	375780	375780
Jumlah		1502270	1502100
Rata-rata		375567,5	375525

Tahun	Penduduk	Tahun ke (X)	Proyeksi Aritmatik (Yi)	(Yi-Ymean)	(Yi-Ymean) ²
2021	375270	1	375270	-2463215	2964862582937
2022	375520	2	375440	-128	16256
2023	375700	3	375610	43	1806
2024	375780	4	375780	213	45156
Jumlah	1502270	10	1502100	-1718507	2964876467711
Y mean	375567,5		2881107	-782640	301773965309
Standar Deviasi					219

C. Proyeksi Mundur Metode Geometrik dan Perhitungan Standar Deviasi

No	Tahun	Jumlah penduduk	Proyeksi Geometrik
1	2021	375270	375270
2	2022	375520	375440
3	2023	375700	375610
4	2024	375780	375780
Jumlah		1502270	1502100
Rata-rata		2887728,4	375525,1

Tahun	Penduduk	Tahun ke (X)	Proyeksi Geometri (Yi)	(Yi-Ymean)	(Yi-Ymean)^2
2021	375270	1	375270	-255	64942
2022	375520	2	375440	-85	7224
2023	375700	3	375610	85	7211
2024	375780	4	375780	255	64981
Jumlah		10	1502100	0	144358
Y mean			375525	0	36090
Standar Deviasi					219

D. Proyeksi Mundur Metode Least Square dan Perhitungan Standar Deviasi

Tahun	Jumlah penduduk (y)	Tahun ke (x)	x.y	x^2	Proyeksi Least Square
2021	375270	1	375270	1	375311
2022	375520	2	751040	4	375482
2023	375700	3	1127100	9	375653
2024	375780	4	1503120	16	375824
Jumlah	1502270	10	3756530	30	1502270

Tahun	Tahun Ke (X)	Jumlah Penduduk	Proyeksi Least Square (Yi)	Yi - Ymean	(Yi - Ymean) ²
2021	1	375270	375311	-257	65792
2022	2	375520	375482	-86	7310
2023	3	375700	375653	86	7310
2024	4	375780	375824	257	65792
Jumlah		1502270	1502270		146205
Rata-rata		375568	375568		36551
Standar Deviasi					220,76

E. Perbandingan Standar Deviasi Proyeksi Penduduk

Tahun	Jumlah Penduduk	Hasil Perhitungan Mundur		
		Aritmatik	Geometrik	Least Square
2021	375270	375.270	375.270	375.311
2022	375520	375.440	375.440	375.482
2023	375700	375.610	375.610	375.653
2024	375780	375.780	375.780	375.824
Jumlah	1502270	1.502.100	1.502.100	1.502.270
Standar Deviasi		219	219	221

F. Proyeksi Maju Timbulan Sampah Kota Yogyakarta

Proyeksi Kedepan	Jumlah Penduduk	Timbulan Pemukiman (kg/hari)	Organik pemukiman (kg/hari)
2024	375.780	189.768	100.388
2025	375.950	189.854	100.433
2026	376.120	189.940	100.479
2027	376.290	190.026	100.524
2028	376.461	190.112	100.570
2029	376.631	190.198	100.615
2030	376.802	190.284	100.661
2031	376.972	190.371	100.706
2032	377.143	190.457	100.752
2033	377.313	190.543	100.798
2034	377.484	190.629	100.843

Proyeksi Kedepan	Jumlah Penduduk	Timbulan non-pemukiman (kg/hari)	Organik non-pemukiman (kg/hari)
2024	375.780	112.734	45.094
2025	375.950	112.785	45.114
2026	376.120	112.836	45.134
2027	376.290	112.887	45.155
2028	376.461	112.939	45.175
2029	376.631	112.990	45.196
2030	376.802	113.041	45.216
2031	376.972	113.092	45.237
2032	377.143	113.143	45.257
2033	377.313	113.194	45.278
2034	377.484	113.246	45.298

Proyeksi Kedepan	Jumlah Penduduk	Total timbulan (kg/hari)	Kenaikan (kg)
2024	375.780	302.503	
2025	375.950	302.640	137
2026	376.120	302.777	137
2027	376.290	302.914	137
2028	376.461	303.051	137
2029	376.631	303.188	137
2030	376.802	303.325	137
2031	376.972	303.462	137
2032	377.143	303.600	137
2033	377.313	303.737	137
2034	377.484	303.875	137

G. Komposisi Sampah Kota Yogyakarta

No.	Material	Presentase Berat (%)
1	Organik	46,45%
2	Kertas	17,40%
3	Plastik	31,05%
4	Logam	0,55%
5	Kaca/Gelas	1,05%
6	Karet	0,60%
7	Kain	1,05%
8	lainnya	1,85%

H. Beban Pengolahan Sampah Organik Kota Yogyakarta

Tahun	jumlah timbulan (kg/hari)	komposisi sampah organik	beban pengolahan	
			kg/hari	m3/hari
	1	2	3 = 1x2	4 = 3 / berat jenis
2024	302.503	46,45%	140.513	468
2025	302.640		140.576	469
2026	302.777		140.640	469
2027	302.914		140.703	469
2028	303.051		140.767	469
2029	303.188		140.831	469
2030	303.325		140.895	470
2031	303.462		140.958	470
2032	303.600		141.022	470
2033	303.737		141.086	470
2034	303.875		141.150	470

I. Potensi Daur Ulang Sampah Organik Kota Yogyakarta

tahun	jumlah timbunan	Persentase Potensi Daur ulang	Potensi Pengolahan	
			kg/hari	m3/hari
	1	2	3 = 1x2	4 = 3 / berat jenis
2024	140.513	80,0%	112.410	375
2025	140.576		112.461	375
2026	140.640		112.512	375
2027	140.703		112.563	375
2028	140.767		112.614	375
2029	140.831		112.665	376
2030	140.895		112.716	376
2031	140.958		112.767	376
2032	141.022		112.818	376
2033	141.086		112.869	376
2034	141.150		112.920	376

J. Produksi Produk dari Opsi Metode Pengolahan Sampah Organik

1. Biokonversi Menggunakan Larva BSF

a. Skenario 1

skenario 1				
kapasitas pengolahan	waktu proses (hari)	pasokan sampah (ton)	total (ton)	
	21	33,9	711,4	
potensi pupuk organik	tingkat pengolahan	kapasitas pengolahan (ton)	total (ton/21 hari)	total (ton/hari)
	60%	711,4	426,8	20,3
penyusutan pupuk	persentase	jumlah pupuk (ton/hari)	total (ton/hari)	m ³ /hari
	50%	20,3	10,2	33,9
potensi pakan ternak	tingkat pengolahan	kapasitas pengolahan (ton)	total (ton/21 hari)	total (ton/hari)
	40%	711,4	284,6	13,6
potensi pupuk cair	standar konversi	kapasitas pengolahan (ton)	total(L/21hari)	total (m ³ /hari)
	0,15	711,4	106,7	5,1
penyusutan pupuk	persentase	jumlah pupuk (m ³ /hari)	total (m ³ /hari)	total (ton/hari)
	50%	5,1	2,5	0,8

b. Skenario 2

skenario 2				
kapasitas pengolahan	waktu proses (hari)	pasokan sampah (ton)	total (ton)	
	21	56,5	1185,7	
potensi pupuk organik	tingkat pengolahan	kapasitas pengolahan (ton)	total (ton/21 hari)	total (ton/hari)
	60%	1185,7	711,4	33,9
penyusutan pupuk	persentase	jumlah pupuk (ton/hari)	total (ton/hari)	m ³ /hari
	50%	33,9	16,9	56,5
potensi pakan ternak	tingkat pengolahan	kapasitas pengolahan (ton)	total (ton/21 hari)	total (ton/hari)
	40%	1185,7	474,3	22,6
potensi pupuk cair	standar konversi	kapasitas pengolahan (ton)	total(L/21hari)	total (m ³ /hari)
	0,15	1185,7	177,8	8,5
penyusutan pupuk	persentase	jumlah pupuk (m ³ /hari)	total (m ³ /hari)	total (ton/hari)
	50%	8,5	4,2	1,3

c. Skenario 3

skenario 3				
kapasitas pengolahan	waktu proses (hari)	pasokan sampah (ton)	total (ton)	
	21	112,9	2371,3	
potensi pupuk organik	tingkat pengolahan	kapasitas pengolahan (ton)	total (ton/21 hari)	total (ton/hari)
	60%	2371,3	1422,8	67,8
penyusutan pupuk	persentase	jumlah pupuk (ton/hari)	total (ton/hari)	m ³ /hari
	50%	67,8	33,9	112,9
potensi pakan ternak	tingkat pengolahan	kapasitas pengolahan (ton)	total (ton/21 hari)	total (ton/hari)
	40%	2371,3	948,5	45,2
potensi pupuk cair	standar konversi	kapasitas pengolahan (ton)	total(m ³ /21hari)	total (m ³ /hari)
	0,15	2371,3	355,7	16,9
penyusutan pupuk	persentase	jumlah pupuk (m ³ /hari)	total (m ³ /hari)	total (ton/hari)
	50%	16,9	8,5	2,5

Skenario	Potensi Sampah yang Dapat Diolah (ton/hari)	Perkiraan Pupuk Organik Padat yang Dihasilkan (ton/hari)	Perkiraan Pupuk Organik Cair yang Dihasilkan (m ³ /hari)	Perkiraan Pakan Ternak yang Dihasilkan (ton/hari)
Skenario 1	33,9	10,16	2,54	13,5
Skenario 2	56,5	16,94	4,23	22,6
Skenario 3	113	33,88	8,47	45,2

2. Anaerobic Digestion

a. Skenario 1

skenario 1			
total nilai TS	persen TS	jumlah bahan baku (kg)	total Nilai TS (kg)
	20%	33876,0	6775,2
gas yang dihasilkan	total nilai TS	produksi gas	total gas (m3)
	6775,2	0,5	3387,6

b. Skenario 2

skenario 2			
total nilai TS	persen TS	jumlah bahan baku (kg)	total Nilai TS (kg)
	20%	56459,9	11292,0
gas yang dihasilkan	total nilai TS	produksi gas	total gas (m3)
	11292	0,5	5646,0

c. Skenario 3

skenario 3			
total nilai TS	persen TS	jumlah bahan baku (kg)	total Nilai TS (kg)
	20%	112.920	22584
gas yang dihasilkan	total nilai TS	produksi gas	total gas (m3)
	22584	0,5	11292

Skenario	Potensi Sampah yang Dapat Diolah(ton/hari)	Perkiraan Biogas (m ³ /hari)
Skenario 1	33,9	3.387,6
Skenario 2	56,5	5.646
Skenario 3	112,9	11.292

3. Pengomposan

a. Skenario 1

skenario 1					
kapasitas pengolahan	waktu (hari)	pasokan sampah (ton/hari)	pasokan sampah (m3/hari)	total (ton/bulan)	total (m3/bulan)
	30	33,9	112,9	1016	3388
volume setelah di cacah	volume yang akan di cacah(m3/bulan)	volume reduksi	hari	volume setelah di cacah (m3/bulan)	volume setelah di cacah (m3/hari)
	3388	3	30	1129	37,6
penyusutan pupuk 40-60%	penyusutan kompos	total kompos	total (m3/hari)	total (ton/hari)	m3/siklus pengeringan
	40%	37,6	15,1	4,5	210,8

b. Skenario 2

skenario 2					
kapasitas pengolahan	waktu (hari)	pasokan sampah (ton/hari)	pasokan sampah (m3/hari)	total (ton/bulan)	total (m3/bulan)
	30	56,5	188,2	1694	5646
volume setelah di cacah	volume yang akan di cacah(m3/bulan)	volume reduksi	hari	volume setelah di cacah (m3/bulan)	volume setelah di cacah (m3/hari)
	5646	3	30	1882	62,7
penyusutan pupuk 40-60%	penyusutan kompos	total kompos	total (m3/hari)	total (ton/hari)	m3/siklus pengeringan
	40%	62,7	25,1	7,5	351,3

c. Skenario 3

skenario 3					
kapasitas pengolahan	waktu (hari)	pasokan sampah (ton/hari)	pasokan sampah (m3/hari)	total (ton/bulan)	total (m3/bulan)
	30	112,9	376,4	3388	11292
volume setelah di cacah	volume yang akan di cacah(m3/bulan)	volume reduksi	hari	volume setelah di cacah (m3/bulan)	volume setelah di cacah (m3/hari)
	11292	3	30	3764	125,5
penyusutan pupuk 40-60%	penyusutan kompos	total kompos	total (m3/hari)	total (ton/hari)	m3/siklus pengeringan
	40%	125,5	50,2	15,1	702,6

Skenario	Potensi sampah yang dapat diolah (ton/hari)	Perkiraan Pupuk Kompos	
		Ton/hari	m3/hari
Skenario 1	33,9	4,5	15,1
Skenario 2	56,6	7,5	25,1
Skenario 3	112,9	15,1	50,2

K. Estimasi Kebutuhan Lahan

1. Biokonversi Larva BSF

a. Skenario 1

Skenario 1				
area bioreaktor bsf				
kapasitas pengolahan	waktu proses (hari)	jumlah sampah (ton)	total (ton/siklus)	
	21	33,9	711,4	
kebutuhan unit	jumlah sampah (ton)	kapasitas unit (ton)	total unit	
	711,4	2	355,7	
kebutuhan lahan	unit	bak bioreaktor (m2)	total kebutuhan lahan (m2)	
	355,7	15	1778	
area perkawinan				
kebutuhan lahan	15m2 / 2 ton	kapasitas unit (ton)	kebutuhan lahan (m2)	
	7,50	33,9	254,1	
area penetasan				
kebutuhan lahan	8m2 / 2 ton	kapasitas (ton)	kebutuhan lahan (m2)	
	4	33,9	135,5	
area pengeringan kompos	direncanakan ketinggian 60cm			
kapasitas pengolahan	waktu proses (hari)	jumlah pupuk (m3/hari)	total pengolahan (m3)	
	14	33,9	474,3	
kebutuhan lahan	pengolahan (m3)	p x l	ketinggian (m)	total kebutuhan lahan (m2) (p x l)
	474,3	0	0,6	790,4
bak aerasi	direncanakan 75m2			

b. Skenario 2

Skenario 2				
area bioreaktor bsf				
kapasitas pengolahan	waktu proses (hari)	jumlah sampah (ton)	total (ton/siklus)	
	21	56,5	1185,7	
kebutuhan unit	jumlah sampah (ton)	kapasitas unit (ton)	total unit	
	1185,7	2	592,8	
kebutuhan lahan	unit	bak bioreaktor (m2)	total kebutuhan lahan (m2)	
	592,8	15	2964	
area perkawinan				
kebutuhan lahan	15m2 / 2 ton	kapasitas unit (ton)	kebutuhan lahan (m2)	
	7,50	56,5	423,4	
area penetasan				
kebutuhan lahan	8m2 / 2 ton	kapasitas (ton)	kebutuhan lahan (m2)	
	4	56,5	225,8	
area pengeringan kompos	direncanakan ketinggian 60cm			
kapasitas pengolahan	waktu proses (hari)	jumlah pupuk (m3/hari)	total pengolahan (m3)	
	14	56,5	790,4	
kebutuhan lahan	pengolahan (m3)	p x l	ketinggian (m)	total kebutuhan lahan (m2) (p x l)
	790,4	0	0,6	1317,4
bak aerasi	direncanakan 125m2			

c. Skenario 3

Skenario 3				
area bioreaktor bsf				
kapasitas pengolahan	waktu proses (hari)	jumlah sampah (ton)	total (ton/siklus)	
	21	112,9	2371,3	
kebutuhan unit	jumlah sampah (ton)	kapasitas unit (ton)	total unit	
	2371,3	2	1185,7	
kebutuhan lahan	unit	bak bioreaktor (m2)	total kebutuhan lahan (m2)	
	1185,7	15	5928	
area perkawinan				
kebutuhan lahan	15m2 / 2 ton	kapasitas unit (ton)	kebutuhan lahan (m2)	
	7,50	112,9	846,9	
area penetasan				
kebutuhan lahan	8m2 / 2 ton	kapasitas (ton)	kebutuhan lahan (m2)	
	4	112,9	451,7	
area pengeringan kompos	direncanakan ketinggian 60cm			
kapasitas pengolahan	waktu proses (hari)	jumlah pupuk (m3/hari)	total pengolahan (m3)	
	14	112,9	1580,9	
kebutuhan lahan	pengolahan (m3)	p x l	ketinggian (m)	total kebutuhan lahan (m2) (p x l)
	1580,9	0	0,6	2634,8
bak aerasi	direncanakan 250m2			

2. Anaerobic digestion

a. Skenario 1

skenario 1				
kebutuhan lahan	(jumlah sampah / 15) *4000	maksimal (ton)	lahan (m2)	total kebutuhan lahan (m2)
	33,9	15	4000	9034
implementasi, 4000m2 / 15 ton				

b. Skenario 2

skenario 2				
kebutuhan lahan	(jumlah sampah / 15) *4000	maksimal (ton)	lahan (m2)	total kebutuhan lahan (m2)
	56,5	15	4000	15056
implementasi, 4000m2 / 15 ton				

c. Skenario 3

skenario 3				
kebutuhan lahan	(jumlah sampah / 15) *4000	maksimal (ton)	lahan (m2)	total kebutuhan lahan (m2)
	112,9	15	4000	30112
implementasi, 4000m2 / 15 ton				

3. Pengomposan

a. Skenario 1

skenario 1				
area pengomposan				
kapasitas pengolahan	waktu proses (hari)	jumlah sampah (ton)	total kapasitas (ton/bulan)	
	30	33,9	1016,3	
kebutuhan unit	total kapasitas	kapasitas unit (unit/ton)	total unit	
	1016,3	2	508	
kebutuhan lahan	total unit	ukuran m2	total kebutuhan lahan (m2)	
	508,1	13	6605,8	
area pencacahan				
kebutuhan lahan	luas mesin cacah (m2)	jumlah mesin	kebutuhan lahan (m2)	
	3,2	4	12,8	
area pematangan kompos	direncanakan tinggi 60cm	v = jumlah pupuk yang dihasilkan (m3/hari)	rumus: $v = p \times l \times t$	
kapasitas pengolahan	v	p x l	t	$p \times l = (m2)$
	210,8	0	0,6	351,3
area pengayakan	luas mesin cacah (m2)	jumlah mesin	kebutuhan lahan (m2)	
	7	4	28	

b. Skenario 2

skenario 2				
area pengomposan				
kapasitas pengolahan	waktu proses (hari)	jumlah sampah (ton)	total kapasitas (ton/bulan)	
	30	56,5	1693,8	
kebutuhan unit	total kapasitas	kapasitas unit (unit/ton)	total unit	
	1693,8	2	847	
kebutuhan lahan	total unit	ukuran m2	total kebutuhan lahan (m2)	
	846,9	13	11009,7	
area pencacahan				
kebutuhan lahan	luas mesin cacah (m2)	jumlah mesin	kebutuhan lahan (m2)	
	3,2	6	19,2	
area pematangan kompos	direncanakan tinggi 60cm	v = jumlah pupuk yang dihasilkan (m3/hari)	rumus: $v = p \times l \times t$	
kapasitas pengolahan	v	p x l	t	p x l = (m2)
	351,3	0	0,6	585,5
area pengayakan	luas mesin cacah (m2)	jumlah mesin	kebutuhan lahan (m2)	
	7	6	42	

c. Skenario 3

skenario 3				
area pengomposan				
kapasitas pengolahan	waktu proses (hari)	jumlah sampah (ton)	total kapasitas (ton/bulan)	
	30	112,9	3387,6	
kebutuhan unit	total kapasitas	kapasitas unit (unit/ton)	total unit	
	3387,6	2	1694	
kebutuhan lahan	total unit	ukuran m2	total kebutuhan lahan (m2)	
	1693,8	13	22019,4	
area pencacahan				
kebutuhan lahan	luas mesin cacah (m2)	jumlah mesin	kebutuhan lahan (m2)	
	3,2	12	38,4	
area pematangan kompos	direncanakan tinggi 60cm	v = jumlah pupuk yang dihasilkan (m3/hari)	rumus: $v = p \times l \times t$	
kapasitas pengolahan	v	p x l	t	p x l = (m2)
	702,6	0	0,6	1171,0
area pengayakan	luas mesin cacah (m2)	jumlah mesin	kebutuhan lahan (m2)	
	7	12	84	

L. Perhitungan Aspek Ekonomi

BSF estimasi kebutuhan investasi skenario 1				harga pokok produksi					estimasi laba/ rugi				
pengelahan 30%													
keterangan	jumlah unit	harga per unit	jumlah	hpp	kebutuhan/hari	harga satuan	hari	bulan	tahun	keterangan	volume (kg/hari)	harga satuan	nilai per tahun
Conveyor Bck	2	40.000.000	80.000.000	Karung Plastik 50 kg @ Rp1.500	393	1.500	589.442	17.683.247	212.198.964	pendapatan			
Mesin Pencacah	4	31.280.910	125.123.640	Dergen Plastik 30 L @ Rp35000	25	35.000	889.244	26.677.312	320.127.747	Pakan Temak (70%)	9.485	2.000	6.924.244.606
Rak besi bertingkat Sebagai Bioreaktor	119	1.000.000	118.565.832	Upah tenaga kerja harian	25	100.000	2.500.000	75.000.000	900.000.000	Pupuk Organik	10,163	1.000	3.709.416.753
Ruang sebagai kandang kawin dilengkapi Rak stainless	2	5.000.000	10.000.000							Pupuk Cair	762	2.000	556.412.513
Rak besi bertingkat 3 sebagai tempat penetasan telur	68	1.000.000	67.751.904	total hpp			3.978.685	119.360.559	1.432.326.711	total pendapatan			11.190.073.872
Kolam aerasi	5	5.000.000	25.000.000							HPP			1.432.326.711
Aerator	5	10.000.000	50.000.000							laba kotor			9.757.747.161
Timbangan berdiri	5	2.500.000	12.500.000							penyusutan			487.887.358
Trolley palet	5	2.000.000	10.000.000							biaya operasional	108.457.274		1.301.487.282
Wadah plastik persegi	150	50.000	7.500.000	jenis	kebutuhan	harga satuan	total						
Pengayak manual	5	50.000	250.000	Kas			50.000.000						
Thermo-hyrometer	5	500.000	2.500.000	Bibit Larva BSF	33.876	3000	101.627.856						
Sekop	25	50.000	1.250.000	total			7.774.318.845	0,01					
Mesin pengemas karung	4	40.000.000	160.000.000										
Mesin pengemas botol	2	40.000.000	80.000.000										
Investasi Bangunan	3.272	2.000.000	6.544.999.631										
investasi lahan	3.272	100.000	327.249.982										
kebutuhan aset tetap			7.622.690.989										

Alternatif Bioteknologi	Jenis Sumber daya	Input per ton sampah
Biokonversi dengan larva BSF	Solar pencacah Listrik	22 L 3,88 kwh

	investasi + total operasional	12.317.810.703	ton/tahun
solar	74,36	6800	505648
listrik	131,144	1352	177306,688
			biaya pergebelan sampah per ton
			838,927
			48.942,71

ASUMSI		OPEX (Pengeluaran)	
Biaya modal	20%	penyusutan	487.887.358
Investasi Awal	7.774.318.845	operasional	327.249.982
Nilai Sisa	10%	pereliharaan	327.249.982
Pendapatan	9.757.747.161	Pengeluaran Lainnya	1.473.418.362
Pertumbuhan Pendapatan	5%	total pengeluaran	3.590.042.984
Inflasi	5%		
Lama Project (thn)	10		

	Tahun 0	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5	Tahun 6	Tahun 7	Tahun 8	Tahun 9	Tahun 10
Revenue		9.757.747.161	10.245.634.519	10.757.916.245	11.295.812.058	11.860.602.660	12.453.632.793	13.076.314.433	13.730.130.155	14.416.636.662	15.137.468.496
penyusutan operasional		487.887.358	512.281.726	537.895.812	564.790.603	593.030.133	622.681.640	653.815.722	686.506.508	720.831.833	756.873.425
pereliharaan		1.301.487.282	1.366.561.647	1.434.889.729	1.506.634.215	1.581.965.926	1.661.064.222	1.744.117.433	1.831.323.305	1.922.889.470	2.019.033.944
Pengeluaran Lainnya		327.249.982	343.612.481	360.793.105	378.832.760	397.774.398	417.663.118	438.546.274	460.473.587	483.497.267	507.672.130
OPEX		1.473.418.362	1.547.089.281	1.624.443.745	1.705.665.932	1.790.949.228	1.880.496.690	1.974.521.524	2.073.247.601	2.176.909.981	2.285.755.480
EBITDA		6.167.704.177	6.476.089.386	6.799.893.855	7.139.888.548	7.496.882.975	7.871.727.124	8.265.313.480	8.678.579.154	9.112.508.112	9.568.133.517
EBITDA Margin		63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%
Investasi Awal	(7.774.318.845)										
EBITDA (Laba Bersih) Nilai Sisa		6.167.704.177	6.476.089.386	6.799.893.855	7.139.888.548	7.496.882.975	7.871.727.124	8.265.313.480	8.678.579.154	9.112.508.112	9.568.133.517
Putaran Biaya Minimal Accumulated Cashflow	(7.774.318.845)	(1.606.614.668)	4.869.474.717	11.669.368.572	18.809.257.120	26.306.140.095	34.177.867.219	42.443.180.699	51.121.759.853	60.234.267.965	70.579.833.367
IRR	84%										
NPV	22.652.119.724										
Periode Balik Modal	1 tahun	3 bulan									
ROI	89,1%										
Biaya Investasi	7.774.318.845										
penyusutan operasional		487.887.358	512.281.726	537.895.812	564.790.603	593.030.133	622.681.640	653.815.722	686.506.508	720.831.833	756.873.425
pereliharaan		1.301.487.282	1.366.561.647	1.434.889.729	1.506.634.215	1.581.965.926	1.661.064.222	1.744.117.433	1.831.323.305	1.922.889.470	2.019.033.944
Pengeluaran Lainnya		327.249.982	343.612.481	360.793.105	378.832.760	397.774.398	417.663.118	438.546.274	460.473.587	483.497.267	507.672.130
Biaya Investasi	7.774.318.845	3.590.042.984	3.769.545.134	3.958.022.390	4.155.923.510	4.363.719.685	4.581.905.670	4.811.000.953	5.051.551.001	5.304.128.551	5.569.334.978
Biaya Investasi PV	7.774.318.845	2.991.702.487	2.617.739.676	2.290.522.217	2.004.206.940	1.753.681.072	1.534.470.938	1.342.662.071	1.174.829.312	1.027.975.648	899.478.692
Acc. COI	7.774.318.845	10.766.021.332	13.383.761.008	15.674.283.225	17.678.490.164	19.432.171.236	20.966.642.175	22.309.304.245	23.484.133.557	24.512.109.205	25.411.587.897

BSF estimasi kebutuhan investasi skema 3				harga pokok produksi						estimasi laba/ rugi			
keterangan	pengecilan 100%			lpp	kebutuhan/hari	harga satuan	hari	bulan	tahun	keterangan	volume (kg/hari)	harga satuan	nilai pertahun
	jumlah unit	harga per unit	jumlah										
Conveyor Belt	8	40.000.000	320.000.000	Karung Plastik 50 kg @ Rp1.500	1.310	1.500	1.964.805	58.944.157	707.329.880	pendapatan			
Mesin Pencacah	14	31.280.910	437.932.740	Dengan Plastik 30 L @ Rp35000	85	35.000	2.964.146	88.924.374	1.067.092.491	Pakan Ternak (70%)	31.618	2.000	23.080.815.354
Rak besi bertingkat Sebagai Bioreaktor	395	1.000.000	395.219.441	Upah tenaga kerja harian	80	100.000	8.000.000	240.000.000	2.880.000.000	Pupuk Organik	33.876	1.000	12.364.722.511
Ruang sebagai kandang kawin dilengkapi Rak stainless	2	20.000.000	40.000.000							Pupuk Cair	2.541	2.000	1.854.708.377
Rak besi bertingkat 3 sebagai tempat penetasan telur	226	1.000.000	225.839.681	total lpp		136.500	12.928.951	387.868.531	4.654.422.370	total pendapatan			37.300.246.241
Kolam aerasi	20	5.000.000	100.000.000							HPP			4.654.422.370
Aerator	20	10.000.000	200.000.000							laba kotor			32.645.823.871
Timbangan berdiri	15	2.500.000	37.500.000							penjualan			1.632.291.194
Timbex paket	15	2.000.000	30.000.000	jenis	kebutuhan	harga satuan	total	150.000.000					4.350.298.812
Wadah plastik persegi	500	50.000	25.000.000	Kan	112.920	3000	338.759.521						362.524.901
Pengayak manual	20	50.000	1.000.000	Bib4 Larva BSF									1.632.291.194
Thermo-hygrometer	20	500.000	10.000.000	total				25.241.650.090					4.350.298.812
Scop	80	50.000	4.000.000										1.632.291.194
Mesin pengemas karung	8	40.000.000	320.000.000										3.839.725.089
Mesin pengemas botol	6	40.000.000	240.000.000										21.758.442.171
Investasi Bangunan	10.651	2.000.000	21.301.332.102										
investasi lahan	10.651	100.000	1.065.066.605										
kebutuhan aset tetap			24.752.890.569										

ASUMSI		OPEX (Pengeluaran)	
Biaya modal	20%	penjualan	1.632.291.194
Investasi Awal	25.241.650.090	operasional	4.350.298.812
Nilai Sisa	10%	peremajaan	1.065.066.605
Pendapatan	32.645.823.871	Pengeluaran Lainnya	4.904.791.694
Pertumbuhan Pendapatan	5%	total pengeluaran	11.952.448.304
Inflasi	5%		
Lama Project (thn)	10		

	investasi + total operasional	40.294.694.639	ton/tahun
solar	248,6	6800	1600480
listrik	438,44	1352	592770,88
			biaya pengolahan sampah per ton
			823,303
			48.942,73

Tahun	Tahun 0	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5	Tahun 6	Tahun 7	Tahun 8	Tahun 9	Tahun 10
Revenue		32.645.823.871	34.278.115.064	35.992.020.818	37.791.621.858	39.681.202.951	41.665.263.099	43.748.526.254	45.935.952.567	48.222.750.195	50.644.387.705
penyusutan operasional		1.632.291.194	1.713.905.753	1.799.601.041	1.889.581.093	1.984.060.148	2.083.263.155	2.187.426.313	2.296.797.628	2.411.637.510	2.532.219.385
peremajaan		4.350.298.812	4.567.813.752	4.796.204.440	5.036.014.662	5.287.815.395	5.552.206.165	5.829.816.473	6.121.307.297	6.427.372.661	6.748.741.294
Pengeluaran Lainnya		1.065.066.605	1.118.319.935	1.174.235.932	1.232.947.729	1.294.595.115	1.359.324.871	1.427.291.115	1.498.655.670	1.573.588.454	1.652.267.876
OPEX		11.952.448.304	12.550.070.720	13.177.574.256	13.836.452.968	14.528.275.617	15.254.689.398	16.017.423.868	16.818.295.061	17.659.209.814	18.542.170.305
EBITDA		20.693.375.566	21.728.044.345	22.814.446.562	23.955.168.890	25.152.927.334	26.410.573.701	27.731.102.386	29.117.657.505	30.573.540.381	32.102.217.400
EBITDA Margin		63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%	63%
Investasi Awal	(25.241.650.090)										
EBITDA (Laba Bersih)		20.693.375.566	21.728.044.345	22.814.446.562	23.955.168.890	25.152.927.334	26.410.573.701	27.731.102.386	29.117.657.505	30.573.540.381	32.102.217.400
Nilai Sisa											
Putaran Biaya Minimal	(25.241.650.090)	20.693.375.566	21.728.044.345	22.814.446.562	23.955.168.890	25.152.927.334	26.410.573.701	27.731.102.386	29.117.657.505	30.573.540.381	34.626.382.409
Accumulated Cashflow	(25.241.650.090)	(4.548.274.524)	17.179.769.821	39.994.216.383	63.949.385.273	89.102.312.607	115.512.886.308	143.243.988.694	172.361.646.200	202.935.186.581	237.561.568.989
IRR	86,7%										
NPV	76.829.042.427										
Periode Balik Modal	1 Tahun										
ROI	91,5%										

	25.241.650.090	1.632.291.194	1.713.905.753	1.799.601.041	1.889.581.093	1.984.060.148	2.083.263.155	2.187.426.313	2.296.797.628	2.411.637.510	2.532.219.385
Biaya Investasi	25.241.650.090										
penyusutan		1.632.291.194	1.713.905.753	1.799.601.041	1.889.581.093	1.984.060.148	2.083.263.155	2.187.426.313	2.296.797.628	2.411.637.510	2.532.219.385
operasional		4.350.298.812	4.567.813.752	4.796.204.440	5.036.014.662	5.287.815.395	5.552.206.165	5.829.816.473	6.121.307.297	6.427.372.661	6.748.741.294
peremajaan		1.065.066.605	1.118.319.935	1.174.235.932	1.232.947.729	1.294.595.115	1.359.324.871	1.427.291.115	1.498.655.670	1.573.588.454	1.652.267.876
Pengeluaran Lainnya		4.904.791.694	5.150.031.279	5.407.532.843	5.677.909.485	5.961.804.959	6.259.895.207	6.572.889.968	6.901.534.466	7.246.611.189	7.608.941.749
Biaya Investasi	25.241.650.090	11.952.448.304	12.550.070.720	13.177.574.256	13.836.452.968	14.528.275.617	15.254.689.398	16.017.423.868	16.818.295.061	17.659.209.814	18.542.170.305
Biaya Investasi PV	25.241.650.090	9.960.373.587	8.715.326.889	7.625.911.028	6.672.672.149	5.838.588.131	5.108.764.614	4.470.169.037	3.911.397.908	3.422.473.169	2.994.664.023
Acc. COI	25.241.650.090	35.202.023.677	43.917.350.566	51.543.261.593	58.215.933.743	64.054.521.873	69.163.286.487	73.633.455.525	77.544.853.432	80.967.326.602	83.961.990.625

Anaerobic Digestion				harga pokok produksi						estimasi laba/ rugi			
estimasi kebutuhan investasi				kebutuhan/hari						keterangan			
alternatif 1	pengeluaran 30%			happ	kebutuhan/hari	harga satuan	hari	bulan	tahun	kebutuhan/hari	volume (m3/hari)	harga satuan	nilai pertahaan
Conveyor Belt	2	40.000.000	80.000.000	Uyah	20	100.000	2.000.000	60.000.000	720.000.000				
Mesin pencacah	4	31.280.910	125.123.640	total happ				60.000.000	720.000.000				
Reaktor fixed dome	3	60.000.000	180.000.000										
Kantong penyimpanan gas	17	40.000.000	677.519.042										
Bak penampung lumpur	23	18.000.000	406.511.425										
Unit trickling filter	3	120.000.000	360.000.000										
Tirubangan berdiri	3	2.500.000	7.500.000										
Tandon air	8	3.000.000	24.000.000										
Trickly palet	6	2.000.000	12.000.000										
Wadah plastik pengep	150	50.000	7.500.000										
Wadah penampungan	10	200.000	2.000.000										
Scop	20	50.000	1.000.000										
Sewa Tanah	9.273	100.000	927.258.722										
kebutuhan aset tetap			2.810.412.829										

ASUMSI		OPEX (Pengeluaran)		Alternatif Bioteknologi		Jenis Sumber daya		input per ton sampah	
Biaya modal	20%	investasi Awal	2.860.412.829	penyusutan	273.118.063	Bioteknologi dengan larva BSF	Solar pencacah	2,2 L	
Nilai Sisa	10%	operasional	1.240.392.730		1.240.392.730		Litrik	3,88 kwh	
Pendapatan	5.462.361.255	pemeliharaan	927.258.722		927.258.722				
Pengeluaran Lainnya	5%	Pengeluaran Lainnya	1.380.497.483		1.380.497.483				
Inflasi	5%	total pengeluaran	3.821.266.998		3.821.266.998				
Lama Project (thn)	10								

Tahun	Tahun 0	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5	Tahun 6	Tahun 7	Tahun 8	Tahun 9	Tahun 10
Revenue		5.462.361.255	5.735.479.318	6.022.253.284	6.323.365.948	6.639.534.246	6.971.510.958	7.320.086.506	7.686.090.831	8.070.395.373	8.473.915.141
penyusutan		273.118.063	286.773.966	301.112.664	316.168.297	331.976.712	348.575.548	366.004.325	384.304.542	403.519.769	423.695.757
operasional		1.240.392.730	1.302.412.366	1.367.532.985	1.435.909.634	1.507.705.116	1.583.090.371	1.662.244.890	1.745.357.135	1.832.624.991	1.924.256.241
pemeliharaan		927.258.722	973.621.658	1.022.302.741	1.073.417.878	1.127.088.772	1.183.443.211	1.242.615.371	1.304.746.140	1.369.983.447	1.438.482.619
Pengeluaran Lainnya		1.380.497.483	1.449.522.357	1.521.998.475	1.598.098.399	1.678.003.319	1.761.903.485	1.849.998.659	1.942.498.592	2.039.623.522	2.141.604.698
OPEX		3.821.266.998	4.012.330.348	4.212.946.866	4.423.594.209	4.644.773.919	4.877.012.615	5.120.863.246	5.376.906.408	5.645.751.729	5.928.039.315
EBITDA		1.641.094.257	1.723.148.970	1.809.306.418	1.899.771.739	1.994.760.326	2.094.498.343	2.199.223.260	2.309.184.423	2.424.643.644	2.545.875.826
EBITDA Margin		30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%

Investasi Awal	EBITDA (Laba Bersih)	Nilai Sisa	Putaran Biaya Minimal	Accumulated Cashflow
(2.860.412.829)	1.641.094.257	1.723.148.970	1.809.306.418	1.899.771.739
	1.994.760.326	2.094.498.343	2.199.223.260	2.309.184.423
	2.424.643.644	2.545.875.826	2.831.917.109	3.213.136.817
	3.638.830.882	4.042.482.429	4.454.916.068	4.877.012.615
	5.293.301.657	5.928.039.315	6.598.584.581	7.270.139.501
	6.044.801.994	6.743.831.165	7.438.047.955	8.126.190.468
	6.849.603.988	7.598.584.581	8.343.831.165	9.043.831.165
	7.699.603.988	8.403.831.165	9.148.831.165	9.848.831.165
	8.599.603.988	9.253.831.165	10.053.831.165	10.753.831.165
	9.549.603.988	10.058.831.165	10.858.831.165	11.558.831.165
	10.549.603.988	10.863.831.165	11.663.831.165	12.363.831.165
	11.599.603.988	11.668.831.165	12.468.831.165	13.168.831.165
	12.649.603.988	12.473.831.165	13.273.831.165	13.973.831.165
	13.699.603.988	13.278.831.165	14.078.831.165	14.778.831.165
	14.749.603.988	14.083.831.165	14.883.831.165	15.583.831.165
	15.799.603.988	14.888.831.165	15.688.831.165	16.388.831.165
	16.849.603.988	15.693.831.165	16.493.831.165	17.193.831.165
	17.899.603.988	16.498.831.165	17.298.831.165	18.003.831.165
	18.949.603.988	17.303.831.165	18.103.831.165	18.808.831.165
	19.999.603.988	18.108.831.165	18.908.831.165	19.613.831.165
	21.049.603.988	18.913.831.165	19.713.831.165	20.418.831.165
	22.099.603.988	19.718.831.165	20.518.831.165	21.223.831.165
	23.149.603.988	20.523.831.165	21.323.831.165	22.028.831.165
	24.199.603.988	21.328.831.165	22.128.831.165	22.833.831.165
	25.249.603.988	22.133.831.165	22.933.831.165	23.638.831.165
	26.299.603.988	22.938.831.165	23.738.831.165	24.443.831.165
	27.349.603.988	23.743.831.165	24.543.831.165	25.248.831.165
	28.399.603.988	24.548.831.165	25.348.831.165	26.053.831.165
	29.449.603.988	25.353.831.165	26.153.831.165	26.858.831.165
	30.499.603.988	26.158.831.165	26.958.831.165	27.663.831.165
	31.549.603.988	26.963.831.165	27.763.831.165	28.468.831.165
	32.599.603.988	27.768.831.165	28.568.831.165	29.273.831.165
	33.649.603.988	28.573.831.165	29.373.831.165	30.078.831.165
	34.699.603.988	29.378.831.165	30.178.831.165	30.883.831.165
	35.749.603.988	30.183.831.165	30.983.831.165	31.688.831.165
	36.799.603.988	30.988.831.165	31.788.831.165	32.493.831.165
	37.849.603.988	31.793.831.165	32.593.831.165	33.298.831.165
	38.899.603.988	32.598.831.165	33.398.831.165	34.103.831.165
	39.949.603.988	33.403.831.165	34.203.831.165	34.908.831.165
	40.999.603.988	34.208.831.165	35.008.831.165	35.713.831.165
	42.049.603.988	35.013.831.165	35.813.831.165	36.518.831.165
	43.099.603.988	35.818.831.165	36.618.831.165	37.323.831.165
	44.149.603.988	36.623.831.165	37.423.831.165	38.128.831.165
	45.199.603.988	37.428.831.165	38.228.831.165	38.933.831.165
	46.249.603.988	38.233.831.165	39.033.831.165	39.738.831.165
	47.299.603.988	39.038.831.165	39.838.831.165	40.543.831.165
	48.349.603.988	39.843.831.165	40.643.831.165	41.348.831.165
	49.399.603.988	40.648.831.165	41.448.831.165	42.153.831.165
	50.449.603.988	41.453.831.165	42.253.831.165	42.958.831.165
	51.499.603.988	42.258.831.165	43.058.831.165	43.763.831.165
	52.549.603.988	43.063.831.165	43.863.831.165	44.568.831.165
	53.599.603.988	43.868.831.165	44.668.831.165	45.373.831.165
	54.649.603.988	44.673.831.165	45.473.831.165	46.178.831.165
	55.699.603.988	45.478.831.165	46.278.831.165	46.983.831.165
	56.749.603.988	46.283.831.165	47.083.831.165	47.788.831.165
	57.799.603.988	47.088.831.165	47.888.831.165	48.593.831.165
	58.849.603.988	47.893.831.165	48.693.831.165	49.398.831.165
	59.899.603.988	48.698.831.165	49.498.831.165	50.203.831.165
	60.949.603.988	49.503.831.165	50.303.831.165	51.008.831.165
	61.999.603.988	50.308.831.165	51.108.831.165	51.813.831.165
	63.049.603.988	51.113.831.165	51.913.831.165	52.618.831.165
	64.099.603.988	51.918.831.165	52.718.831.165	53.423.831.165
	65.149.603.988	52.723.831.165	53.523.831.165	54.228.831.165
	66.199.603.988	53.528.831.165	54.328.831.165	55.033.831.165
	67.249.603.988	54.333.831.165	55.133.831.165	55.838.831.165
	68.299.603.988	55.138.831.165	55.938.831.165	56.643.831.165
	69.349.603.988	55.943.831.165	56.743.831.165	57.448.831.165
	70.399.603.988	56.748.831.165	57.548.831.165	58.253.831.165
	71.449.603.988	57.553.831.165	58.353.831.165	59.058.831.165
	72.499.603.988	58.358.831.165	59.158.831.165	59.863.831.165
	73.549.603.988	59.163.831.165	59.963.831.165	60.668.831.165
	74.599.603.988	59.968.831.165	60.768.831.165	61.473.831.165
	75.649.603.988	60.773.831.165	61.573.831.165	62.278.831.165
	76.699.603.988	61.578.831.165	62.378.831.165	63.083.831.165
	77.749.603.988	62.383.831.165	63.183.831.165	63.888.831.165
	78.799.603.988	63.188.831.165	63.988.831.165	64.693.831.165
	79.849.603.988	63.993.831.165	64.793.831.165	65.498.831.165
	80.899.603.988	64.798.831.165	65.598.831.165	66.303.831.165
	81.949.603.988	65.603.831.165	66.403.831.165	67.108.831.165
	82.999.603.988	66.408.831.165	67.208.831.165	67.913.831.165
	84.049.603.988	67.213.831.165	68.013.831.165	68.718.831.165
	85.099.603.988	68.018.831.165	68.818.831.165	69.523.831.165
	86.149.603.988	68.823.831.165	69.623.831.165	70.328.831.165
	87.199.603.988	69.628.831.165	70.428.831.165	71.133.831.165
	88.249.603.988	70.433.831.165	71.233.831.165	71.938.831.165
	89.299.603.988	71.238.831.165	72.038.831.165	72.743.831.165
	90.349.603.988	72.043.831.165	72.843.831.165	73.548.831.165

Anacmbic Digestion estimasi kebutuhan investasi				harga pokok produksi						estimasi laba/ rugi			
keterangan	pengeluaran 50%			lpp	kebutuhan/hari	harga satuan	hari	bulan	tahun	keterangan	volume (m ³ /hari)	harga satuan	nilai perubahan
	jumlah unit	harga per unit	jumlah										
Conveyor Belt	4	40.000.000	160.000.000							Pendapatan			
Mesa pencacah	7	31.280.910	218.966.370							Perjualan Biogas	5.646	5.000	10.303.935.426
Reaktor fixed dome	5	60.000.000	300.000.000							total pendapatan			10.303.935.426
Kontang pemampatan gas	28	40.000.000	1.120.198.403							HPP			1.080.000.000
Bak pengering harpar	38	18.000.000	677.519.042							laba kotor			9.223.935.426
Unit tracking filter	5	120.000.000	600.000.000							penyusutan			461.196.771
Timbangan berdiri	5	2.500.000	12.500.000							biaya operasional		163.122.172	1.957.466.060
Tandon air	10	3.000.000	30.000.000							sewa lahan	15.395	100.000	1.539.497.870
Trolley palet	8	2.000.000	16.000.000							laba operasi			5.265.774.724
Wadah plastik persegi	180	50.000	9.000.000							paik 15%			789.866.209
Wadah pemampatan	15	200.000	3.000.000							laba bersih			4.475.908.515
Sekop	25	50.000	1.250.000										
Sewa Tanah	15.395	100.000	1.539.497.870										
kebutuhan aset tetap			4.696.931.685										

ASUMSI				OPEX (Pengeluaran)			
Biaya modal	20%			penyusutan	461.196.771		
Investasi Awal	4.776.931.685			operasional	1.957.466.060		
Nilai Sisa	10%			pereliharaan	1.539.497.870		
Pendapatan	9.223.935.426			Pengeluaran Lainnya	2.329.364.079		
Pertumbuhan Pendapatan	5%			total pengeluaran	6.287.524.781		
Inflasi	5%						
Lama Project (thn)	10						

Tahun	Tahun 0	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5	Tahun 6	Tahun 7	Tahun 8	Tahun 9	Tahun 10
Revenue		9.223.935.426	9.685.132.197	10.169.388.807	10.677.858.247	11.211.751.160	11.772.338.717	12.360.955.653	12.979.003.436	13.627.953.608	14.309.351.288
penyusutan		461.196.771	484.256.610	508.469.440	533.892.912	560.587.558	588.616.936	618.047.783	648.950.172	681.397.680	715.467.564
operasional		1.957.466.060	2.055.339.363	2.158.106.331	2.266.011.648	2.379.312.230	2.498.277.842	2.623.191.734	2.754.351.321	2.892.068.887	3.036.672.331
pereliharaan		1.539.497.870	1.616.472.764	1.697.296.402	1.782.161.222	1.871.269.283	1.964.832.748	2.063.074.385	2.166.228.104	2.274.539.509	2.388.266.485
Pengeluaran Lainnya		2.329.364.079	2.445.832.283	2.568.123.897	2.696.530.092	2.831.356.597	2.972.924.426	3.121.570.648	3.277.649.180	3.441.531.639	3.613.608.221
OPEX		6.287.524.781	6.601.901.020	6.931.996.071	7.278.595.874	7.642.525.668	8.024.651.952	8.425.884.549	8.847.178.777	9.289.537.716	9.754.014.601
EBITDA		2.936.410.645	3.083.231.177	3.237.392.736	3.399.262.373	3.569.225.491	3.747.686.766	3.935.071.104	4.131.824.659	4.338.415.892	4.555.336.687
EBITDA Margin		32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%	32%

Investasi Awal	(4.776.931.685)										
EBITDA (Laba Bersih)		2.936.410.645	3.083.231.177	3.237.392.736	3.399.262.373	3.569.225.491	3.747.686.766	3.935.071.104	4.131.824.659	4.338.415.892	4.555.336.687
Nilai Sisa											477.693.168
Putaran Biaya Minimal	(4.776.931.685)	2.936.410.645	3.083.231.177	3.237.392.736	3.399.262.373	3.569.225.491	3.747.686.766	3.935.071.104	4.131.824.659	4.338.415.892	5.033.029.855
Accumulated Cashflow	(4.776.931.685)	(1.840.521.040)	1.242.710.137	4.480.102.873	7.879.365.245	11.448.590.737	15.196.277.503	19.131.348.607	23.263.173.266	27.601.589.158	32.634.619.014

IRR	66%
NPV	9.726.303.246
Periode Balik Modal	1 Tahun
ROI	27,3%

7,2 bulan

Biaya Investasi	4.776.931.685										
penyusutan		461.196.771	484.256.610	508.469.440	533.892.912	560.587.558	588.616.936	618.047.783	648.950.172	681.397.680	715.467.564
operasional		1.957.466.060	2.055.339.363	2.158.106.331	2.266.011.648	2.379.312.230	2.498.277.842	2.623.191.734	2.754.351.321	2.892.068.887	3.036.672.331
pereliharaan		1.539.497.870	1.616.472.764	1.697.296.402	1.782.161.222	1.871.269.283	1.964.832.748	2.063.074.385	2.166.228.104	2.274.539.509	2.388.266.485
Pengeluaran Lainnya		2.329.364.079	2.445.832.283	2.568.123.897	2.696.530.092	2.831.356.597	2.972.924.426	3.121.570.648	3.277.649.180	3.441.531.639	3.613.608.221
Pengeluaran Lainnya		6.287.524.781	6.601.901.020	6.931.996.071	7.278.595.874	7.642.525.668	8.024.651.952	8.425.884.549	8.847.178.777	9.289.537.716	9.754.014.601
Biaya Investasi	4.776.931.685										
Biaya Investasi PV	4.776.931.685	5.239.603.984	4.584.653.486	4.011.571.800	3.510.125.325	3.071.359.660	2.687.439.702	2.351.509.739	2.057.571.022	1.800.374.644	1.575.327.814
Acc. COI	4.776.931.685	10.016.535.669	14.601.189.155	18.612.760.955	22.122.886.281	25.194.245.940	27.881.685.642	30.233.195.382	32.290.766.404	34.091.141.048	35.666.468.862

Pengomposan estimasi kebutuhan investasi				harga pokok produksi						estimasi laba/ rugi			
skema 1	pengalihan 30%			happ	kebutuhan/hari	harga satuan	hari	bulan	tahun	keterangan	wakew (kg/hari)	harga satuan	mla pertahun
Conveyor Belt	2	40.000.000	80.000.000										
Mesin pencacah	4	31.280.910	125.123.640										
Unit bant berongga	508	1.500.000	762.208.922										
Mesin penyayak	4	40.000.000	160.000.000										
Mesin pengemas karung	4	40.000.000	160.000.000										
Blower	3	7.500.000	22.500.000										
Timbangan berdiri	3	2.500.000	7.500.000										
Trolley palet	6	2.000.000	12.000.000										
Wadah plastik pernegi	150	50.000	7.500.000										
Pengayak manual	5	50.000	250.000										
Thermo-hygrometer	5	500.000	2.500.000										
Sekop	25	50.000	1.250.000										
Sewa Lahan	7237	100.000	723.691.683										
kebutuhan aset tetap			2.064.524.245										
				KAS									
				Kas				50.000.000					
				total				2.114.524.245					
										pendapatan			
										Penjualan Pupuk	4.517	3.000	4.945.889.004
										total pendapatan			4.945.889.004
										HPP			768.781.371
										laba kotor			4.177.107.633
										penyusutan			208.855.382
										biaya operasional		102.701.060	1.232.412.718
										sewa lahan	7.237	100.000	723.691.683
										laba operasi			2.012.147.851
										pajak 15%			301.822.178
										laba bersih			1.710.325.673

ASUMSI		OPEX (Pengeluaran)		0		investasi + total operasional		5.350.087.576		ton/tahun	
Biaya modal	20%										
Investasi Awal	2.114.524.245	penyusutan	208.855.382								
Nilai Sisa	10%	operasional	1.232.412.718	Pengomposan	Solar pencacah	2,2 t	77	6800	523600	biaya pengalihan sampah per ton	14.682,81
Pendapatan	4.177.107.633	perbaikan	723.691.683	listrik	3,89 t	1,33 kwh	46,55	1352	62935,6	364.378	28.471,26
Pertumbuhan Pendapatan	5%	Pengeluaran Lainnya	1.025.513.860								48.942,71
Inflasi	5%	total pengeluaran	3.190.473.643								
Lama Project (thn)	10										

Tahun	Tahun 0	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5	Tahun 6	Tahun 7	Tahun 8	Tahun 9	Tahun 10
Revenue		4.177.107.633	4.385.963.015	4.605.261.166	4.835.524.224	5.077.300.435	5.331.165.457	5.597.723.730	5.877.609.916	6.171.490.412	6.480.064.933
penyusutan operasional		208.855.382	219.298.151	230.263.058	241.776.211	253.865.022	266.558.273	279.886.186	293.880.496	308.574.521	324.003.247
perbaikan		723.691.683	759.876.267	797.870.080	837.763.584	879.651.763	923.634.351	969.816.069	1.018.306.872	1.069.222.216	1.122.683.327
Pengeluaran Lainnya		1.025.513.860	1.076.789.553	1.130.629.031	1.187.160.482	1.246.518.507	1.308.844.432	1.374.286.654	1.443.000.986	1.515.151.036	1.590.908.587
OPEX		3.190.473.643	3.349.997.325	3.517.497.191	3.693.372.051	3.878.040.653	4.071.942.686	4.275.539.820	4.489.316.811	4.713.782.652	4.949.471.784
EBITDA		986.633.991	1.035.965.690	1.087.763.975	1.142.152.173	1.199.259.782	1.259.222.771	1.322.183.910	1.388.293.105	1.457.707.761	1.530.593.149
EBITDA Margin		24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%	24%
Investasi Awal	(2.114.524.245)										
EBITDA (Laba Bersih)		986.633.991	1.035.965.690	1.087.763.975	1.142.152.173	1.199.259.782	1.259.222.771	1.322.183.910	1.388.293.105	1.457.707.761	1.530.593.149
Nilai Sisa											211.452.424
Putaran Biaya Minimal	(2.114.524.245)	986.633.991	1.035.965.690	1.087.763.975	1.142.152.173	1.199.259.782	1.259.222.771	1.322.183.910	1.388.293.105	1.457.707.761	1.742.045.573
Accumulated Cashflow	(2.114.524.245)	(1.127.890.254)	(91.924.564)	995.839.411	2.137.991.584	3.337.251.366	4.596.474.138	5.918.658.047	7.306.951.153	8.764.658.913	10.506.704.486
IRR	50%										
NPV	2.766.791.070										
Periode Balik Modal	2 Tahun										
ROI	15,6%										
Biaya Investasi	2.114.524.245										
penyusutan operasional		208.855.382	219.298.151	230.263.058	241.776.211	253.865.022	266.558.273	279.886.186	293.880.496	308.574.521	324.003.247
perbaikan		723.691.683	759.876.267	797.870.080	837.763.584	879.651.763	923.634.351	969.816.069	1.018.306.872	1.069.222.216	1.122.683.327
Pengeluaran Lainnya		1.025.513.860	1.076.789.553	1.130.629.031	1.187.160.482	1.246.518.507	1.308.844.432	1.374.286.654	1.443.000.986	1.515.151.036	1.590.908.587
Biaya Investasi	2.114.524.245	3.190.473.643	3.349.997.325	3.517.497.191	3.693.372.051	3.878.040.653	4.071.942.686	4.275.539.820	4.489.316.811	4.713.782.652	4.949.471.784
Biaya Investasi PV	2.114.524.245	2.658.728.036	2.326.387.031	2.035.588.652	1.781.140.071	1.558.497.562	1.363.685.367	1.193.224.696	1.044.071.609	913.562.658	799.367.326
Acc. COI	2.114.524.245	4.773.252.280	7.099.639.311	9.135.227.963	10.916.368.034	12.474.865.596	13.838.550.963	15.031.775.658	16.075.847.267	16.989.409.925	17.788.777.251

Pengomposan estimasi kebutuhan investasi skema 2				harga pokok produksi					estimasi laba/ rugi			
keterangan	jumlah unit	harga per unit	jumlah	lpp					keterangan	vokme (kg/hari)	harga satuan	nilai perubahan
				kebotolan/hari	harga satuan	hari	bulan	tahun				
Conveyor Belt	4	40.000.000	160.000.000	151	1.500	225.840	6.775.190	81.302.285	Pendapatan			
Mesin pencah	7	31.280.910	218.966.370	40	100.000	4.000.000	120.000.000	1.440.000.000	Perubahan Pupuk	7.528	3.000	8.243.148.341
Unit busi berongga	847	1.500.000	1.270.348.203						total pendapatan			8.243.148.341
Mesin pengayak	6	40.000.000	240.000.000						HPP			1.521.302.285
Mesin pengeras karung	6	40.000.000	240.000.000						laba kotor			6.721.846.056
Blower	5	7.500.000	37.500.000						penyusutan			336.092.303
Timbangan berdiri	8	2.500.000	20.000.000						biaya operasional		171.974.527	2.063.691.928
Trolley rakit	8	2.000.000	16.000.000						sewa lahan	11.995	100.000	1.199.539.471
Wadah plastik persegi	250	50.000	12.500.000						laba operasi			3.122.522.354
Pengayak manual	10	50.000	500.000						paik 15%			468.378.353
Thermo-hyrometer	10	500.000	5.000.000						laba bersih			2.654.144.001
Sekop	40	50.000	2.000.000									
Sewa Lahan	11995	100.000	1.199.539.471									
kebutuhan aset tetap			3.422.354.044									

ASUMSI	
Biaya modal	20%
Investasi Awal	3.502.354.044
Nilai Sisa	10%
Pendapatan	6.721.846.056
Pertumbuhan Pendapatan	5%
Inflasi	5%
Lama Project (thn)	10

OPEX (Pengeluaran)	
penyusutan	336.092.303
operasional	2.063.691.928
pereliharaan	1.199.539.471
Pengeluaran Lainnya	1.667.917.824
total pengeluaran	5.267.241.526

				investasi + total operasi	9.091.358.384	pengolahan (ton/tahun)
solar	127,6	6800	867680	biaya pengolahan sampah per ton		34.682,81
listrik	77,14	1352	104293,28		371,510	24.471,36
						48.942,71

	Tahun 0	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5	Tahun 6	Tahun 7	Tahun 8	Tahun 9	Tahun 10	
Revenue		6.721.846.056	7.057.938.358	7.410.835.276	7.781.377.040	8.170.445.892	8.578.968.187	9.007.916.596	9.458.312.426	9.931.228.047	10.427.789.449	
penyusutan		336.092.303	352.896.918	370.541.764	389.068.852	408.522.295	428.948.409	450.395.830	472.915.621	496.561.402	521.389.472	
operasional		2.063.691.928	2.166.876.524	2.275.220.350	2.388.981.368	2.508.430.436	2.633.851.958	2.765.544.556	2.903.821.784	3.049.012.873	3.201.463.517	
pereliharaan		1.199.539.471	1.259.516.445	1.322.492.267	1.388.616.880	1.458.047.724	1.530.950.110	1.607.497.616	1.687.872.497	1.772.266.122	1.860.879.428	
Pengeluaran Lainnya		1.667.917.824	1.751.313.715	1.838.879.401	1.930.823.371	2.027.364.540	2.128.732.767	2.235.169.405	2.346.927.875	2.464.274.269	2.587.487.982	
OPEX		5.267.241.526	5.530.603.602	5.807.133.782	6.097.490.471	6.402.364.995	6.722.483.245	7.058.607.407	7.411.537.777	7.782.114.666	8.171.220.399	
EBITDA		1.454.604.530	1.527.334.756	1.603.701.494	1.683.886.569	1.768.080.897	1.856.484.942	1.949.309.189	2.046.774.649	2.149.113.381	2.256.569.050	
EBITDA Margin		22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	
Investasi Awal		(3.502.354.044)										
EBITDA (Laba Bersih)		1.454.604.530	1.527.334.756	1.603.701.494	1.683.886.569	1.768.080.897	1.856.484.942	1.949.309.189	2.046.774.649	2.149.113.381	2.256.569.050	
Nilai Sisa											350.235.404	
Putaran Biaya Minimal		(3.502.354.044)	1.454.604.530	1.527.334.756	1.603.701.494	1.683.886.569	1.768.080.897	1.856.484.942	1.949.309.189	2.046.774.649	2.149.113.381	
Accumulated Cashflow		(3.502.354.044)	(2.047.749.514)	(520.414.758)	1.083.286.736	2.767.173.304	4.535.254.202	6.391.739.144	8.341.048.333	10.387.822.981	12.536.936.362	15.143.740.817
IRR	45%											
NPV	3.700.434.962											
Periode Balik Modal	2 Tahun											
ROI	12,6%											
Biaya Investasi		3.502.354.044										
penyusutan		336.092.303	352.896.918	370.541.764	389.068.852	408.522.295	428.948.409	450.395.830	472.915.621	496.561.402	521.389.472	
operasional		2.063.691.928	2.166.876.524	2.275.220.350	2.388.981.368	2.508.430.436	2.633.851.958	2.765.544.556	2.903.821.784	3.049.012.873	3.201.463.517	
pereliharaan		1.199.539.471	1.259.516.445	1.322.492.267	1.388.616.880	1.458.047.724	1.530.950.110	1.607.497.616	1.687.872.497	1.772.266.122	1.860.879.428	
Pengeluaran Lainnya		1.667.917.824	1.751.313.715	1.838.879.401	1.930.823.371	2.027.364.540	2.128.732.767	2.235.169.405	2.346.927.875	2.464.274.269	2.587.487.982	
Biaya Investasi PV		3.502.354.044	5.267.241.526	5.530.603.602	5.807.133.782	6.097.490.471	6.402.364.995	6.722.483.245	7.058.607.407	7.411.537.777	7.782.114.666	8.171.220.399
Acc. COI		3.502.354.044	7.891.721.982	11.732.418.928	15.093.028.756	18.033.562.355	20.606.529.254	22.877.875.291	24.827.803.074	26.551.489.883	28.059.715.841	29.379.413.555

Pengomposan estimasi kebutuhan investasi skema 3				harga pokok produksi						estimasi laba/ rugi			
keterangan	pengecilan 100%			lpp	kebutuhan/hari	harga satuan	hari	bulan	tahun	keterangan	ukuran (kg/hari)	harga satuan	nilai pertahun
	jumlah unit	harga per unit	jumlah										
Conveyor Belt	8	40.000,000	320.000.000	Karung Plastik 50 kg	301	1.500	451.679	13.550.381	162.604.570	Pendapatan			16.486.296.681
Mesin pencacah	14	31.280.910	437.932.740	Upah	80	100.000	8.000.000	240.000.000	2.880.000.000	Pengeluaran Pabrik	15.056	3.000	16.486.296.681
Unit busa betong	1.694	1.500,000	2.540.696.406							total pendapatan			13.443.692.111
Mesin pengayak	12	40.000,000	480.000.000	total lpp				240.000.000	3.042.604.570	HPP			3.042.604.570
Mesin pengemas karung	12	40.000,000	480.000.000							laba kotor			10.401.087.541
Blower	10	7.500,000	75.000.000							perawatan			6.721.844.606
Terdaman berdes	15	2.900,000	37.500.000							biaya operasional	343.918.634		4.127.023.605
Trukley palat	15	2.000,000	30.000.000							sewa lahan	23.852	100.000	2.385.178.942
Wadah plastik persegi	300	50,000	15.000.000							laba operasi			6.259.304.939
Pengayak manual	20	50,000	1.000.000							pagu 15%			938.891.741
Thermo-hyponeter	20	500,000	10.000.000							laba bersih			5.320.409.211
Sedop	80	50,000	4.000.000										
Sewa Lahan	23852	100,000	2.385.178.942										
kebutuhan aset tetap			6.816.308.088										

ASUMSI				OPEX (Pengeluaran)			
Biaya modal	20%			perawatan	672.184.606		
Investasi Awal	6.966.308.088			operasional	4.127.023.605		
Nilai Sisa	10%			permbayaran	2.385.178.942		
Pendapatan	13.443.692.111			Pengeluaran Lainnya	3.224.074.686		
Pertambahan Pendapatan	5%			total pengeluaran	10.506.461.438		
Infasi	5%						
Lama Project (thn)	10						

Tahun	Tahun 0	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5	Tahun 6	Tahun 7	Tahun 8	Tahun 9	Tahun 10
Revenue		13.443.692.111	14.115.876.717	14.821.670.552	15.562.754.080	16.340.891.784	17.157.936.373	18.015.833.192	18.916.624.852	19.862.456.094	20.855.578.899
penyusutan		672.184.606	705.793.836	741.083.528	778.137.704	817.044.589	857.896.819	900.791.660	945.831.243	993.122.805	1.042.778.945
operasional		4.127.023.605	4.333.374.785	4.550.043.524	4.777.545.700	5.016.422.985	5.267.244.135	5.530.606.341	5.807.136.659	6.097.493.491	6.402.368.166
permbayaran		2.385.178.942	2.504.437.889	2.629.659.784	2.761.142.773	2.899.199.911	3.044.159.907	3.196.367.902	3.356.186.298	3.523.995.612	3.700.195.393
Pengeluaran Lainnya		3.224.074.686	3.490.278.420	3.664.792.341	3.848.031.958	4.040.433.556	4.242.455.234	4.454.577.996	4.677.306.895	4.911.172.240	5.156.730.852
OPEX		10.508.461.838	11.033.884.930	11.585.579.177	12.164.858.136	12.773.101.042	13.411.756.094	14.082.343.899	14.786.461.094	15.525.784.149	16.302.073.356
EBITDA		2.935.230.273	3.081.991.786	3.236.091.376	3.397.895.945	3.567.790.742	3.746.180.279	3.933.489.293	4.130.163.757	4.336.671.945	4.553.505.543
EBITDA Margin		22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%	22%
Investasi Awal		(6.966.308.088)									
EBITDA (Laba Bersih)		2.935.230.273	3.081.991.786	3.236.091.376	3.397.895.945	3.567.790.742	3.746.180.279	3.933.489.293	4.130.163.757	4.336.671.945	4.553.505.543
Nilai Sisa											696.630.809
Putaran Biaya Minimal		(6.966.308.088)	2.935.230.273	3.081.991.786	3.236.091.376	3.397.895.945	3.567.790.742	3.746.180.279	3.933.489.293	4.130.163.757	4.336.671.945
Accumulated Cashflow		(6.966.308.088)	(4.031.077.816)	(949.086.029)	2.287.005.347	5.684.901.291	9.252.692.033	12.998.872.312	16.932.361.605	21.062.525.362	25.399.197.308
IRR	46%										
NPV	7.566.487.527										
Periode Balik Modal	2 Tahun										
ROI	12,9%										
Biaya Investasi		6.966.308.088									
penyusutan			672.184.606	705.793.836	741.083.528	778.137.704	817.044.589	857.896.819	900.791.660	945.831.243	993.122.805
operasional			4.127.023.605	4.333.374.785	4.550.043.524	4.777.545.700	5.016.422.985	5.267.244.135	5.530.606.341	5.807.136.659	6.097.493.491
permbayaran			2.385.178.942	2.504.437.889	2.629.659.784	2.761.142.773	2.899.199.911	3.044.159.907	3.196.367.902	3.356.186.298	3.523.995.612
Pengeluaran Lainnya			3.224.074.686	3.490.278.420	3.664.792.341	3.848.031.958	4.040.433.556	4.242.455.234	4.454.577.996	4.677.306.895	4.911.172.240
Biaya Investasi PV		6.966.308.088	10.508.461.838	11.033.884.930	11.585.579.177	12.164.858.136	12.773.101.042	13.411.756.094	14.082.343.899	14.786.461.094	15.525.784.149
Acc. COI		6.966.308.088	15.723.359.620	23.385.779.711	30.090.397.290	35.956.937.671	41.090.160.505	45.581.730.485	49.511.854.217	52.950.712.483	55.959.713.466

M. Perhitungan Emisi

kapasitas 30%

Alternatif Bioteknologi	Input Sampah kg/tahun	Faktor Emisi	Sumber Emisi	Nilai Faktor Emisi	Beban Lingkungan
Biokonversi dengan larva BSF	12.364.723	CO2	Pencacahan	74.100 kg/TJ	1.250 ton CO2eq/tahun
		CH4	Proses	4 g/kg limbah	49,5 ton/tahun
		N2O	biokonversi	0,3 g/kg limbah	3,7 ton/tahun
AD		CO2	Pencacahan	74.100 kg/TJ	1.250 ton CO2eq/tahun
		N	Proses AD	0,18 kg/ton VS	2,2 ton/tahun
		NH3		0,15 kg/ton VS	1,9 ton/tahun
P		0,01		0,1 ton/tahun	
Pengomposan		CO2	Pencacahan	74.100 kg/TJ	1.250 ton CO2eq/tahun
		CH4	Proses	4 g/kg limbah	49,5 ton/tahun
		N2O	Pengomposan	0,3 g/kg limbah	3,7 ton/tahun
		NH3		6,2 %/kg limbah	767 ton/tahun

kapasitas 50%

Alternatif Bioteknologi	Input Sampah kg/tahun	Faktor Emisi	Sumber Emisi	Nilai Faktor Emisi	Beban Lingkungan
Biokonversi dengan larva BSF	20.607.871	CO2	Pencacahan	74.100 kg/TJ	2.083 ton CO2eq/tahun
		CH4	Proses	4 g/kg limbah	82 ton/tahun
		N2O	biokonversi	0,3 g/kg limbah	6 ton/tahun
AD		CO2	Pencacahan	74.100 kg/TJ	2.083 ton CO2eq/tahun
		N	Proses AD	0,18 kg/ton VS	3,7 ton/tahun
		NH3		0,15 kg/ton VS	3,1 ton/tahun
P		0,01		0,2 ton/tahun	
Pengomposan		CO2	Pencacahan	74.100 kg/TJ	2.083 ton CO2eq/tahun
		CH4	Proses	4 g/kg limbah	82 ton/tahun
		N2O	Pengomposan	0,3 g/kg limbah	6 ton/tahun
		NH3		6,2 %/kg limbah	1.278 ton/tahun

kapasitas 100%

Alternatif Bioteknologi	Input Sampah kg/tahun	Faktor Emisi	Sumber Emisi	Nilai Faktor Emisi	Beban Lingkungan
Biokonversi dengan larva BSF	41.215.742	CO2	Pencacahan	74.100 kg/TJ	4.165 ton CO2eq/tahun
		CH4	Proses	4 g/kg limbah	165 ton/tahun
		N2O	biokonversi	0,3 g/kg limbah	12 ton/tahun
AD		CO2	Pencacahan	74.100 kg/TJ	4.165 ton CO2eq/tahun
		N	Proses AD	0,18 kg/ton VS	7,4 ton/tahun
		NH3		0,15 kg/ton VS	6,2 ton/tahun
P		0,01		0,4 ton/tahun	
Pengomposan		CO2	Pencacahan	74.100 kg/TJ	4.946 ton CO2eq/tahun
		CH4	Proses	4 g/kg limbah	165 ton/tahun
		N2O	Pengomposan	0,3 g/kg limbah	12 ton/tahun
		NH3		6,2 %/kg limbah	2.555 ton/tahun