

**SKRIPSI**

**PEMODELAN DINAMIS PENGOLAHAN PERSAMPAHAN DI  
KECAMATAN SOMBA OPU KABUPATEN GOWA DENGAN  
MENGUNAKAN STELLA**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**ANISA SAFITRI  
D131 19 1045**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### PEMODELAN DINAMIS PENGOLAHAN PERSAMPAHAN DI KECAMATAN SOMBA OPU KABUPATEN GOWA DENGAN MENGUNAKAN STELLA

Disusun dan diajukan oleh

**Anisa Safitri**  
**D131191045**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 26 September 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Kartika Sari, S.T., M.T.  
NIP 19732012000122001

Pembimbing Pendamping,



Annisa Dwi Damayanti, S.T., M.T.  
NIP 199304282021016000

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM.  
NIP 197204242000122001



Optimized using  
trial version  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Anisa Safitri  
NIM : D131191045  
Program Studi : Teknik Lingkungan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Pemodelan Dinamis Pengolahan Persampahan Di Kecamatan Somba Opu  
Kabupaten Gowa Dengan Menggunakan Stella

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 29 Agustus 2023

Yang Menyatakan



## ABSTRAK

**ANISA SAFITRI.** *Pemodelan Dinamis Pengolahan Persampahan Di Kecamatan Somba Opu Kabupaten Gowa Dengan Menggunakan Stella* (dibimbing oleh Dr.Eng. Kartika Sari, S.T., M.T dan Annisa Dwi Damayanti, S.T., M.T.)

Tingginya tingkat pertumbuhan penduduk di Kecamatan Somba Opu sejalan dengan peningkatan timbulan sampahnya. Namun tingginya timbulan sampah ini belum di barengi dengan optimalisasi pengolahan sampah, sehingga salah satu akibatnya adalah terbentuk titik-titik transfer penumpukan sampah yang cukup besar dan tidak terorganisir dengan baik di Kecamatan Somba Opu, diantaranya yaitu di jalan Tun Abdul Razak dan jalan Macanda. Pengolahan persampahan harus direncanakan sedini mungkin agar kebijakan tentang pengolahan sampah dapat dilakukan dengan tepat. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi jumlah timbulan sampah di Kecamatan Somba Opu pada tahun 2023-2033, mengetahui kondisi Eksisting pengolahan sampah, mengetahui jenis teknologi pengolahan sampah yang paling efektif untuk mereduksi timbulan sampah di Kecamatan Somba Opu pada 10 Tahun kedepan dan mengetahui prediksi umur pakai TPA Pa' bentengan Gowa. Jenis penelitian ini adalah analisis *cross sectional* dengan pendekatan Sistem Dinamik menggunakan Stella 10.0.6 untuk dapat mendeskripsikan gambaran prediksi timbulan dan pengolahan sampah di Kecamatan Somba Opu pada interval tahun 2023-2033. Hasil penelitian menunjukkan bahwa timbulan sampah Kecamatan Somba Opu sebesar 36058,52 kg/tahun dengan presentase komposisi sampah yaitu 39,7% didominasi oleh sampah organik, 32,7% sampah plastik, 10,6% sampah plastik, 3,7% sampah kayu, 3,6% B3, 2,7% sampah karet, 2,5% sampah tekstil, 1,9% sampah logam, 1,8% sampah kaca dan 0,8% sampah lainnya. Berdasarkan skenario model selama tahun 2023-2033 diperoleh hasil bahwa estimasi tingkat reduksi sampah menggunakan metode komposting sebesar 30%, skenario pirolisis 27%, skenario BSF 28%, skenario kombinasi komposting dan BSF 35%, skenario kombinasi komposting dan pirolisis 59% dan skenario kombinasi BSF dan pirolisis sebesar 57%. Berdasarkan hasil ini maka skenario yang paling baik di terapkan di Kecamatan Somba Opu adalah skenario kombinasi kompos dan pirolisis.

Kata Kunci: Timbulan sampah, Teknologi Pengolahan Sampah, Sistem Dinamis, STELLA



## ABSTRACT

**ANISA SAFITRI.** *Dynamic Modeling of Solid Waste Management in Somba Opu, Gowa Regency Using Stella* (supervised by Dr.Eng. Kartika Sari, S.T., M.T dan Annisa Dwi Damayanti, S.T., M.T.)

The high rate of population growth in Somba Opu District is in line with the increase in waste generation. However, this high level of waste generation has not been accompanied by optimization of waste processing, so that one of the consequences is the formation of transfer points for the accumulation of waste which are quite large and not well organized in Somba Opu District, including on Jalan Tun Abdul Razak and Jalan Macanda. Waste processing must be planned as early as possible so that policies regarding waste processing can be carried out appropriately. Therefore, this research aims to estimate the amount of waste generation in Somba Opu District in 2023-2033, find out the existing conditions of waste processing, find out the most effective type of waste processing technology. to reduce waste generation in Somba Opu District in the next 10 years and find out the predicted useful life of the Pa'bentengan Gowa TPA. This type of research is a cross sectional analysis with a Dynamic System approach using Stella 10.0.6 to be able to describe the predicted picture of waste generation and processing in Somba Opu District in the 2023-2033 interval. The results of the research show that the waste generation in Somba Opu District is 36058.52 kg/year with a waste composition percentage of 39.7% dominated by organic waste, 32.7% plastic waste, 10.6% plastic waste, 3.7% wood waste , 3.6% B3, 2.7% rubber waste, 2.5% textile waste, 1.9% metal waste, 1.8% glass waste and 0.8% other waste. Based on the model scenario for 2023-2033, the results show that the estimated level of waste reduction using the composting method is 30%, the pyrolysis scenario is 27%, the BSF scenario is 28%, the combination composting and BSF scenario is 35%, the combination composting and pyrolysis scenario is 59% and the combination scenario BSF and pyrolysis of 57%. Based on these results, the best scenario to opt in Somba Opu District is a combination of compost and pyrolysis..

Keywords: Waste Generation, Waste Management Technology, Dynamic System, STELLA



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN .....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....	ix
DAFTAR LAMPIRAN .....	x
KATA PENGANTAR .....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	5
1.5 Ruang Lingkup .....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Sampah .....	6
2.2 Sumber sampah .....	6
2.3 Jenis Sampah .....	7
2.4 Karakteristik Sampah .....	8
2.5 Komposisi sampah .....	10
2.6 Timbulan Sampah .....	11
2.6.1 Metode Pengukuran Timbulan Sampah .....	13
2.6.2 Prosedur Pengukuran Timbulan Sampah .....	14
2.7 Pengolahan Sampah .....	15
2.7.1 Pengomposan .....	16
2.7.2 Larva <i>Black Soldier Fly</i> .....	22
2.7.3 Pirolisis .....	24
2.7.4 Daur Ulang .....	27
2.8 Tingkat Reduksi Sampah dan <i>Recovery Factor</i> .....	28
2.9 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) .....	32
2.10 Model Sistem Dinamis .....	34
2.10.1 Tahapan Penyusunan Model .....	35
2.10.2 STELLA (Systems Thinking, <i>Experimental Learning Laboratory with Animation</i> ) .....	36
2.11 Penelitian Terdahulu .....	38
BAB 3 METODE PENELITIAN .....	46
3.1 Lokasi Penelitian .....	46
3.2 Waktu Penelitian .....	46
3.3 Diagram Alir Penelitian .....	48
3.4 Angka Berpikir .....	49
3.5 Perhitungan Data .....	50
3.6 Klasifikasi dan Sampel .....	50
3.7 Metode Pengambilan Data .....	56



3.8 Metode Pengolahan dan Analisa Data .....	56
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	61
4.1 Kependudukan Kecamatan Somba Opu.....	61
4.2 Timbulan, Densitas dan Komposisi sampah Kecamatan Somba Opu .....	62
4.2.1 Timbulan Sampah .....	62
4.2.2 Densitas Sampah .....	66
4.2.3 Komposisi Sampah.....	67
4.3 Skenario Pengolahan Sampah Kecamatan Somba Opu .....	75
4.4 Potensi Reduksi Sampah Kecamatan Somba Opu.....	77
4.5 Pemodelan Sistem Dinamik Pegolahan Sampah Kecamatan Somba Opu.....	79
4.6 Analisis Umur Pakai TPA Pa'bentengan .....	112
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	116
5.1 Kesimpulan.....	116
5.2 Saran.....	117
DAFTAR PUSTAKA .....	118
Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian.....	123
Lampiran 2 Perhitungan Timbulan Sampah.....	130
Lampiran 3 DefInisi Variabel Dan Formula Model .....	168
Lampiran 4 Surat Penelitian .....	182



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Siklus Hidup <i>Black Soldier Fly</i> .....	23
Gambar 2 Spesifikasi Reaktor Pirolisis IPI AWS 50, Indopower Internasional... 31	31
Gambar 3 Lokasi penelitian Kecamatan Somba Opu .....	47
Gambar 4 Diagram Alir Penelitian .....	48
Gambar 5 Kerangka berfikir.....	49
Gambar 6 Diagram alir pengambilan timbulan sampah .....	59
Gambar 7 Bagan Alir Pengolahan Data STELLA.....	60
Gambar 8 Komposisi sampah perumahan Kec. Somba Opu .....	69
Gambar 9 Komposisi sampah Non Perumahan Kec. Somba Opu .....	71
Gambar 10 Komposisi sampah Non Perumahan Kec. Somba Opu.....	72
Gambar 11 <i>Causal Loop</i> pengolahan sampah Kec. Somba Opu.....	80
Gambar 12 Sub model proyeksi pertumbuhan penduduk Kec. Somba Opu.....	81
Gambar 13 Sub model timbulan dan komposisi sampah Kec. Somba Opu.....	82
Gambar 14 Sub model timbulan sampah/orang Kec. Somba Opu .....	85
Gambar 15 Sub model pengolahan sampah Kec. Somba Opu dengan kompos....	85
Gambar 16 Sub model pengolahan sampah Kec. Somba Opu dengan BSF.....	86
Gambar 17 Sub model pengolahan sampah Kec. Somba Opu dengan pirolisis ...	87
Gambar 18 Grafik proyeksi timbulan sampah dan proyeksi jumlah penduduk ....	89
Gambar 19 Besar timbulan sampah per orang .....	89
Gambar 20 Perbandingan Data Timbulan Sampah DLH dan Data Lapangan.....	91
Gambar 21 Model eksisting pengolahan sampah Kec. Somba Opu.....	91
Gambar 22 Diagram perbandingan jumlah residu ke TPA pada kondisi eksisting dengan data jumlah asli timbulan sampah.....	93
Gambar 23 Model pengolahan sampah dengan komposting Kec. Somba Opu ....	93
Gambar 24 Tabel perbandingan jumlah residu ke TPA pada kondisi eksisting dan skenario 2.....	96
Gambar 25 Model pengolahan sampah dengan pirolisis Kec. Somba Opu.....	97
Gambar 26 Perbandingan jumlah residu ke TPA pada kondisi eksisting dan skenario 3 .....	98
Gambar 27 Model pengolahan sampah dengan BSF Kec. Somba Opu .....	98
Gambar 28 Perbandingan jumlah residu ke TPA pada kondisi eksisting dan skenario 4 .....	100
Gambar 29 Model pengolahan sampah skenario 5 Kec. Somba Opu .....	101
Gambar 30 Perbandingan jumlah residu ke TPA pada kondisi eksisting dan skenario 5 .....	102
Gambar 31 Model pengolahan sampah skenario 6 Kec. Somba Opu .....	102
Gambar 32 Perbandingan jumlah residu ke TPA pada kondisi eksisting dan skenario 6 .....	104
Gambar 33 Model pengolahan sampah skenario 7 Kec. Somba Opu .....	104
Gambar 34 Perbandingan jumlah residu ke TPA pada kondisi eksisting dan skenario 7 .....	105
35 Rekapitulasi tingkat reduksi setiap skenario .....	107
36 Uji parameter model .....	110
37 Uji kondisi ekstrim .....	110
38 Verifikasi unit model .....	111



## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Contoh Komposisi Sampah Domestik di Indonesia.....	10
Tabel 2 Besarnya timbulan sampah berdasarkan sumbernya.....	12
Tabel 3 Kelebihan dan kekurangan metode pengomposan aerobik .....	20
Tabel 4 <i>Recovery Factor</i> sampah.....	28
Tabel 5 Kriteria desain reactor pirolisis.....	31
Tabel 6 Komponen pembentuk <i>causal loop</i> .....	37
Tabel 7 Komponen pembentuk <i>Stock Flow</i> diagram.....	37
Tabel 8 Penelitian terdahulu terkait pengelolaan dan pengolahan sampah perkotaan menggunakan sistem dinamis .....	38
Tabel 9 Sumber data .....	50
Tabel 10 Jumlah sampel perumahan Kecamatan Somba Opu .....	53
Tabel 11 Jumlah fasilitas non perumahan Kecamatan Somba Opu .....	55
Tabel 12 Kepadatan penduduk Kecamatan Somba Opu.....	61
Tabel 13 Berat timbulan sampah perumahan Kecamatan Somba Opu.....	63
Tabel 14 Volume timbulan sampah perumahan Kecamatan Somba Opu .....	64
Tabel 15 Rekapitulasi timbulan sampah non perumahan Kec. Somba Opu .....	65
Tabel 16 Rekapitulasi volume timbulan sampah fasilitas non perumahan Kecamatan Somba Opu.....	65
Tabel 17 Densitas sampah permukiman Kec. Somba Opu .....	66
Tabel 18 Densitas sampah fasilitas non permukiman Kec. Somba Opu .....	66
Tabel 19 Rekapitulasi komposisi timbulan sampah Kec. Somba Opu .....	67
Tabel 20 Komposisi timbulan sampah perumahan Kec. Somba Opu .....	66
Tabel 21 Komposisi timbulan sampah non perumahan Kec. Somba Opu.....	73
Tabel 22 Rekapitulasi timbulan sampah Kec. Somba Opu.....	74
Tabel 23 Rekapitulasi komposisi timbulan sampah Kec. Somba Opu .....	74
Tabel 24 Rekapitulasi Potensi daur ulang sampah Kecamatan Somba Opu.....	77
Tabel 25 Rekapitulasi sampah yang masuk ke Bank Sampah .....	78
Tabel 26 Variabel sub model proyeksi pertumbuhan penduduk .....	81
Tabel 27 Variabel sub model timbulan dan komposisi sampah.....	82
Tabel 28 Loading Rate sampah organik Kec. Somba Opu .....	86
Tabel 29 Tingkat WRI pengolahan BSF Kec. Somba Opu .....	87
Tabel 30 Tingkat WRE pirolisis Kec. Somba Opu.....	88
Tabel 31 Besar timbulan sampah dalam interval tahun 2023-2033 .....	90
Tabel 32 Jumlah sampah terolah Bank Sampah 2023-2033 .....	92
Tabel 33 Jumlah kebutuhan windrow dan lahan .....	94
Tabel 34 Jumlah sampah terolah menggunakan metode komposting .....	95
Tabel 35 Jumlah sampah terolah dengan metode pirolisis .....	97
Tabel 36 Reduksi sampah oleh metode BSF per Bulan.....	99
Tabel 36 Jumlah sampah terolah dengan metode BSF.....	99
Tabel 38 Jumlah sampah terolah dengan metode komposting dan BSF .....	101
Tabel 39 Jumlah sampah terolah dengan metode komposting dan pirolisis.....	103
Tabel 40 Jumlah sampah terolah dengan metode BSF dan pirolisis .....	105
Perhitungan sisa umur pakai TPA tanpa pengolahan .....	114
Perhitungan sisa umur pakai TPA dengan metode kombinasi kompos dan pirolisis .....	115



## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
<b>A</b>	Luas Alas
<b>BSF</b>	<i>Black Soldier Fly</i>
<b>Cd</b>	Koefesien Kota
<b>CE</b>	<i>Conversi Index</i>
<b>Cp</b>	Qalor Jenis Plastik
<b>D</b>	Penurunan Total
<b>KK</b>	Kepala Keluarga
<b>L</b>	Luas
<b>LHV LPG</b>	<i>Lower Heating Value Liquefied Petroleum Gas</i>
<b>m<sub>p</sub></b>	Massa Jenis Plastik
<b>n</b>	Jumlah/Banyak
<b>pH</b>	Potential Hydrogen
<b>PS</b>	Jumlah Contoh Jiwa
<b>Q</b>	Qalor
<b>R</b>	Sisa pakan total setelah waktu tertentu
<b>S</b>	Populasi
<b>SNI</b>	Standar Nasional Indonesia
<b>STELLA</b>	<i>Systems Thinking, Experimental Learning Laboratory with Animation</i>
<b>T</b>	Temperatur
<b>t</b>	Waktu
<b>TPA</b>	Tempat Pemrosesan Akhir
<b>TPS 3R</b>	Tempat pengolahan sampah reduce, reuse, recycle
<b>V</b>	Volume
<b>W</b>	Jumlah total sampah umpan BSF
<b>WRE</b>	Efisiensi pengurangan limbah pada pirolisis <i>Waste Reduction Index</i> Efisiensi ketel



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian.....	123
Lampiran 2 Dokumentasi Perhitungan Timbulan Sampah .....	130
Lampiran 3 DefInisi Variabel Dan Formula Model .....	168
Lampiran 4 Surat Penelitian .....	182



## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kepada Allah SWT, tiada daya dan upaya yang penulis dapat lakukan tanpa limpahan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemodelan Dinamis Pengolahan Persampahan di Kecamatan Somba Opu Kabupaten Gowa dengan Menggunakan STELLA”, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak mungkin terselesaikan tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan dan nasehat dari berbagai pihak yang senantiasa membantu penulis baik secara moril maupun materil dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Maka, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih yang setulus-tulusnya kepada :

1. Kedua orang tua terhebat bagi penulis, Rahmat dan Suyati yang senantiasa mencurahkan doa, penguatan, nasehat serta kesabarannya dalam mengingatkan penulis untuk terus berjuang, motivator terbesar bagi penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini. Moga penulis senantiasa dapat membahagiakan keduanya dunia akhirat.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isram Ramli, S.T., M.T., IPM., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM. selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin.
5. Ibu Dr.Eng. Kartika Sari, S.T., M.T, selaku dosen pembimbing skripsi yang telah senantiasa mengarahkan, memberikan saran dan membimbing hingga terselesaikannya skripsi ini dengan baik
6. Ibu Annisa Dwi Damayanti, S.T.,M.T., selaku dosen pembimbing skripsi yang senantiasa mengarahkan dan memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi dengan baik
7. Seluruh Tendik Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan akademik maupun non akademik yang sangat berharga bagi penulis selama menempuh pendidikan di Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin.
8. Staf administrasi Departemen Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin Bu Sumi, Kak Tami dan Pak Olan yang senantiasa sabar dan cekatan mengurus administrasi-administrasi kami



bat-sahabat TB ku (Inu, Vivi, Dhea, Danti, Nuaz, Izzah, Cesha, Hana) usia-manusia gila, ambis dan berperinsip untuk selalu mengingatkan akan yang lurus, yang telah menjadi saudara di perantauan yang senantiasa membantu penulis, meringankan kesusahan, saling mendukung serta

- menguatkan semangat penulis dalam menggapai impian dan cita-citanya. Terima kasih telah mewarnai hari-hari penulis dengan sangat indah
10. Teman-teman zhbd LFD 19 (Inu, Fia, Anjali, Gita, Angel, Arya, Adam, Faiz, Ridho, Yoga, Haekal, Alfian, Wawan, dan Faidel), yang telah memberikan warna dan semangat baru serta persahabatan yang sangat sehat nan rekeh dalam kehidupan penulis selama menjadi mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
  11. Sahabat penulis sedari kecil Adel yang tidak pernah bosan mendengar keluh kesah serta menghibur penulis, Aisyah, Adnan, Qia, Indri, Andiyani dan Bayu sahabat-sahabat dari SMP yang memiliki tekad kuat dalam meraih cita-cita, yang membentuk penulis menjadi orang yang pantang menyerah dan mandiri
  12. Kak Ira Kala beserta adiknya Nineone'' yang senantiasa memberikan support, semangat, doa dan bantuan serta kebahagiaan-kebahagiaan lainnya kepada penulis
  13. Seluruh pihak yang telah membantu penulis mengambil sampel timbulan sampah (TB, ZHBD, Adel, Aisyah, Didik, Rifky, Arya TL, Cipa L20, Mega L20, Sophi L20, Wiwi L20, Cristo L20)
  14. Bapak sistem dinamik makassar yang senantiasa sabar menjawab dan menjelaskan pertanyaan-pertanyaan dari penulis dan Bapak PTSP yang sangat memudahkan pengurusan surat izin penulis
  15. Teman-teman Lab Persampahan dan Sanitasi (Enjel, Nuramadanti, Buya, Vivi dan Nuaz) serta teman-teman KKD Sanitasi 19 yang telah membangun vibes persaingan yang positif sehingga mendorong penulis untuk terus produktif
  16. Teman-teman Angkatan, PORTLAND 2020 terkhusus kepada teman-teman Avatar 59/59 terima kasih atas segala kesolid-an dan dukungannya terutama teman-teman spektakuler di Lingkungan kelas A yang sangat bureng
  17. Kepada semua nama yang penulis sebutkan di atas maupun kepada seluruh manusia-manusia baik yang pernah penulis temui sampai saat ini dan yang akan datang serta manusia-manusia yang senantiasa mempermudah urusan penulis yang tidak dapat penulis tuliskan namanya satu persatu, Barakallahu fiik moga lagu Cahaya dari Tulus dapat mewakili rasa terima kasih penulis kepada kalian semua.

Penulis sadari Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna sehingga sangat diperlukan kritik dan saran yang membangun agar kedepannya bisa memperbaiki penelitian selanjutnya. Akhir kata semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua orang. Aamiin.

Gowa, 2 Agustus 2023

Penulis,

**Anisa Safitri**  
**D131191045**



# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Sampah merupakan sesuatu yang berasal dari kegiatan manusia yang tidak digunakan lagi, tidak dipakai, sudah tidak disenangi atau sesuatu yang telah dibuang. Berdasarkan SNI 19-2454-2002 tentang Cara Pengelolaan Teknik Sampah Perkotaan, sampah didefinisikan sebagai limbah yang bersifat padat yang terdiri dari zat organik dan zat anorganik yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan dan melindungi investasi pembangunan. Data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup, (2020) menyebutkan bahwa jumlah timbulan sampah di Indonesia per tahun 2020 adalah 32.303.098,28 ton/tahun, dengan 55,87% sampah berhasil dikelola sepanjang tahun dan sebanyak 44,13% berakhir di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Jumlah tersebut akan terus bertambah seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk.

Fenomena tingginya timbulan sampah yang tidak dibarengi dengan pengolahan sampah banyak terjadi di kota-kota besar di Indonesia yang memiliki tingkat kepadatan penduduk yang tinggi termasuk kota Makassar. Menurut Howard pada akhir abad ke 19 diantara daerah pinggiran kota, daerah perkotaan, dan daerah pedesaan, tingkat daerah pinggiran kota memberikan peluang paling besar untuk usaha-usaha produktif maupun peluang masyarakat untuk bertempat tinggal (A.C. M. Alfiansyah, 2019) Salah satu kecamatan yang berbatasan langsung dengan pinggiran kota Makassar sebagai Ibu kota provinsi adalah Kecamatan Somba Opu yang termasuk dalam wilayah Kabupaten Gowa. Kecamatan Somba Opu memiliki luas wilayah 2.759 HA yang didominasi dengan kawasan permukiman dengan luas 1.0569,67 HA (BPS, 2022). Kecamatan Somba Opu tercatat sebagai kecamatan yang paling tinggi tingkat kepadatan penduduknya yakni sebanyak 4.632 orang/km<sup>2</sup> dengan laju pertumbuhan penduduk dalam dua tahun terakhir adalah yang tertinggi

di Kecamatan lain di Kabupaten Gowa yakni sebesar 4,07% (BPS, 2022). Selain itu, besarnya timbulan sampah di Kabupaten Gowa didominasi oleh



sampah dari Kecamatan Somba Opu sebagai iu kota kecamatan di Kabupaten Gowa (Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Gowa Bidang Persampahan 2022)

Tingginya tingkat pertumbuhan penduduk di Kecamatan Somba Opu sejalan dengan peningkatan volume sampahnya yaitu sebesar 77 ton/tahun dengan presentase tingkat reduksi hanya mencapai 0,2% per tahun (Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Gowa Bidang Persampahan 2022) hal ini juga dibuktikan dari hasil observasi lapangan pada Lampiran 2, terdapat titik-titik transfer penumpukan sampah yang cukup besar dan tidak terorganisir dengan baik di Kecamatan Somba Opu, diantaranya yaitu di jalan Tun Abdul Razak dan jalan Macanda, yang mana dari tumpukan trsebut akan di bawa langsung ke TPA Pa'bentengan sehingga tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu. Hal tersebut mengidentifikasikan perlu adanya pengolahan sampah skala kawasan kecamatan agar sampah yang sampai di titik TPA hanya residu saja

Salah satu upaya untuk menekan laju timbulan sampah yaitu dengan melakukan pengolahan. Pengolahan dalam UU No.18 tahun 2008 yaitu mengubah karakteristik, komposisi, dan jumlah sampah dimaksudkan agar sampah dapat diproses lebih lanjut, dimanfaatkan, atau dikembalikan ke media lingkungan secara aman bagi manusia dan lingkungan. Selain dengan melakukan *recyclable*, berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Yahya, (2018) di Kota Masamba, teknologi pengomposan mampu mereduksi sampah sebesar 44,95 m<sup>3</sup>/hari. Selaras dengan hal itu, penelitian yang dilakukan oleh Aufiah (2016), di Surabaya menyatakan bahwa reduksi sampah organik sebesar 2,89 kg/hari atau sebesar 37% dalam sehari sampah yang dapat direduksi adalah 0,06 kg/KK/hari. Selain teknologi komposting, saat ini terdapat pengolahan sampah organik yang memiliki tingkat reduksi tinggi yaitu menggunakan larva dari lalat *Black Soldier Fly* (BSF) dengan tingkat reduksi sampah sebesar 80% dari jumlah sampah yang diberikan (S. Dienes 2010 dalam Madu et al., 2022), Efektifitas larva *Black Soldier Fly* dalam mereduksi sampah organik juga dibuktikan dari hasil penelitian Mahardika (2016) yang menyatakan larva BSF sanggup mereduksi timbulan sampah pasar sebesar 56%.

in untuk pengolahan sampah anorganik dapat menggunakan teknologi yang dapat mereduksi volume sampah 5,075 ton/jam (Ardiyanti, 2021)



Permasalahan sampah harus diselesaikan dengan pendekatan manajemen pengelolaan terkhusus pengolahan yang baik agar dapat mereduksi sampah secara holistik (Artika & Chaerul, 2020). Pemodelan dinamis merupakan salah satu instrumen untuk memperkirakan peningkatan atau kenaikan sampah di suatu kota, melalui pemodelan dinamis dapat mengestimasi tingkat pengurangan sampah untuk mengetahui jenis pengolahan yang sesuai untuk beberapa tahun kedepan (Jassey et al., 2021).

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dengan pendekatan model sistem dinamis telah diterapkan untuk pengelolaan sampah rumah tangga Sukuta Nema, Gambia, Afrika Barat menggunakan software Stella 9.0.2 (Kala et al., 2022), memprediksi timbulan sampah rumah tangga Kota Bau-Bau menggunakan Stella 5.0 (Nurfatmala, dkk 2018), Pengelolaan limbah padat medis fasilitas kesehatan menggunakan Stella 1.9.4 (Madu et al., 2022), analisis AHP pengolahan sampah berdasarkan aspek biaya di daerah DKI Jakarta untuk menurunkan beban penumpukan TPA Bantar Gebang (Surjandari et al., 2009), dan penelitian Yahya, (2018) menggunakan Stella 9.0.2, mengestimasi reduksi sampah rumah tangga Kota Masamba menyatakan bahwa skenario bank sampah mampu mereduksi sampah rumah tangga sebesar 5,84% dari total timbulan sampah dan kemampuan rata-rata reduksi komposting sebesar 64,20% per tahun. Dalam penelitian ini penulis menggunakan input timbulan sampah perumahan dan non perumahan Kecamatan Somba Opu dan berfokus pada presentase reduksinya dengan menggunakan metode komposting, BSF dan Pirolisis. Kelebihan menggunakan pemodelan sistem dinamis dapat membantu untuk menganalisis hubungan dan sifat dinamis antar faktor dalam pengolahan sampah, pemodelan dengan sistem dinamis diyakini dapat digunakan untuk mengakomodir karakteristik tersebut secara holistik (Popli et al., 2017).

Merujuk dari latar belakang tersebut, peneliti memilih judul Tugas Akhir yang berjudul “Pemodelan Dinamis Pengolahan Persampahan di Kecamatan Somba Opu menggunakan STELLA” yang memodelkan sektor pengolahan sampah untuk menganalisis efektifitas jenis teknologi pengolahan sampah yang sesuai kondisi eksisting Kecamatan Somba Opu sehingga dapat mengestimasi



tingkat reduksi sampah serta dapat mengurangi jumlah sampah yang berakhir di TPA sehingga dapat memperpanjang umur pakai TPA.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang diangkat, yaitu:

1. Bagaimana kondisi *eksisting* timbulan dan komposisi sampah Kecamatan Somba Opu pada tahun 2023?
2. Bagaimana prediksi jumlah timbulan dan residu sampah di TPA pada kondisi *eksisting* Kecamatan Somba Opu dalam interval tahun 2024-2033?
3. Bagaimana prediksi jumlah timbulan dan residu sampah di TPA pada Kecamatan Somba Opu dalam interval tahun 2024-2033 berdasarkan hasil skenario model yang telah dibuat?
4. Apa pengolahan sampah paling efektif di Kecamatan Somba Opu pada tahun 2023-2033?
5. Berapa lama jangka waktu maksimal umur pakai TPA Pa'bentengan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, antara lain:

1. Untuk mengetahui jumlah timbulan sampah dan komposisi sampah Kecamatan Somba Opu pada tahun 2023
2. Untuk mengestimasi jumlah timbulan sampah dan residu sampah ke TPA di Kecamatan Somba Opu pada kondisi *eksisting* selama tahun 2024-2033
3. Untuk mengestimasi jumlah timbulan sampah dan residu sampah ke TPA di Kecamatan Somba Opu berdasarkan hasil skenario model
4. Untuk mengetahui jenis teknologi yang paling efektif untuk mereduksi timbulan sampah di Kecamatan Somba Opu pada 10 Tahun kedepan (Tahun 2023 – 2033)
5. Untuk mengetahui umur pakai TPA Pa'bentengan Gowa



## 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini, yaitu:

1. Mahasiswa mampu memprediksi skenario yang sesuai untuk mereduksi sampah di Kecamatan Somba Opu
2. Dapat menjadi *baseland* pengambilan keputusan dalam sistem pengolahan sampah yang tepat.
3. Hasil dari penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk pengembangan ilmu mengenai simulasi menggunakan pemodelan dinamis dan menentukan kebijakan pengolahan sampah di Kecamatan Somba Opu

## 1.5 Ruang Lingkup

Batasan ruang lingkup pada penelitian ini, antara lain:

1. Teknologi yang digunakan disesuaikan dengan tingkat kemudahan pengoperasian metode pengolahan sampah skala kawasan
2. Jenis timbulan sampah yang diolah hanya jenis sampah organik dan plastik
3. Data series timbulan sampah yang diperoleh dari instansi terkait merupakan data hasil proyeksi tahun 2020-2023 atau prediksi sehingga data tersebut tidak dapat digunakan dalam validasi model secara kuantitatif, hanya dapat sebagai pembanding.
4. Skenario yang dibuat hanya menilai dari aspek teknologi dan presentase potensi reduksi sampah masing-masing metode.
5. Skenario reduksi sampah masing-masing metode tidak difokuskan hingga ke aspek keuangan dan realisasi penempatan teknologi di Kecamatan Somba Opu



## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sampah

Berdasarkan SNI 19-2454-2002, sampah merupakan limbah yang bersifat padat yang terdiri dari zat organik dan zat anorganik yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan dan melindungi investasi pembangunan. Menurut definisi World Health Organization (WHO) sampah adalah sesuatu yang berasal dari kegiatan manusia dan tidak terjadi dengan sendirinya yang tidak digunakan, tidak dipakai, tidak disenangi atau sesuatu yang sudah dibuang.

Berdasarkan berbagai pengertian diatas maka secara sederhana sampah dapat diartikan sebagai segala material sisa yang berasal dari kegiatan atau aktivitas manusia (termasuk kegiatan industri) tetapi bukan biologis (karena human waste tidak termasuk didalamnya) atau makhluk hidup lainnya yang umumnya berbentuk padat yang tidak diinginkan lagi dan dianggap tidak berguna pada waktu tertentu. Namun dalam Arif, S (2017) tidak semua benda padat yang tidak digunakan dan dibuang disebut sampah, misalnya: benda-benda alam, benda-benda yang keluar akibat gunung meletus, banjir, pohon hutan yang tumbang akibat angin ribut, sebagainya. Dengan demikian sampah mengandung prinsip-prinsip sebagai berikut:

- a Sesuatu benda atau bahan berbentuk padat
- b Sesuatu yang berhubungan langsung/tidak langsung dengan kegiatan manusia
- c Benda atau bahan tersebut sudah tidak digunakan lagi.

Menurut UU No. 18 Tahun 2008 Tentang Pengeolaan Sampah, Sumber sampah adalah asal timbulan sampah dan Penghasil sampah adalah setiap orang dan/atau akibat proses alam yang menghasilkann timbulan sampah.

### 2.2 Sumber sampah

Sumber sampah menurut Rohim (2020) dapat digolongkan dalam beberapa kategori, yaitu:



mukiman penduduk

sampah ini berasal dari kegiatan rumah tangga seperti hasil pengolahan makanan dapur, kemasan kebutuhan sehari-hari, dari halaman, dan lain-lain

b Daerah Perdagangan

Sampah dari pusat perdagangan atau pasar, biasanya berasal dari bahan sisa jenis barang yang umumnya dijual seperti kardus, kertas, plastik sekali pakai dan sisa sayur atau buah-buahan yang rusak.

c Industri

Sampah yang berasal dari sektor industri merupakan material sisa yang berasal dari segala proses bahan baku hingga hasil proses dalam industri

d Pertanian

Sampah yang berasal dari sektor pertanian atau perkebunan misalnya jerami, sisa sayuran, dan lain-lain

e Tempat-tempat Umum, contohnya sampah dari tempat hiburan, sekolah, wahana hiburan, tempat ibadah , dan lain-lain

f Jalan dan Taman

g Pembangunan dan pemugaran gedung

h Rumah sakit dan Laboratorium

## 2.3 Jenis Sampah

Menurut Hutagalung & Senjaya (2021), Beberapa jenis sampah dapat diklasifikasikan dalam beberapa kelompok, sebagai berikut:

a Jenis Sampah Berdasarkan Sumbernya

1. Sampah yang berasal dari manusia
2. Sampah dari alam
3. Sampah konsumsi makhluk hidup
4. Sampah radioaktif
5. Sampah industri
6. Sampah hasil pertambangan

b Jenis Sampah Berdasarkan Sifatnya

1. Sampah Organik atau *Degradable*, adalah sampah yang dapat terurai dan membusuk dengan kurun waktu yang cepat sehingga dapat diolah menjadi kompos. Beberapa contoh yang termasuk sampah organik seperti sisa makanan, daun kering, sayuran dan kulit buah.



2. Sampah Anorganik atau *Undegradable*, adalah sampah yang tidak dapat terurai sehingga sulit mengalami pembusukan. Namun, sampah anorganik dapat didaur ulang menjadi produk baru yang bermanfaat. Beberapa contohnya seperti botol plastik, kertas bekas, karton, kertas, kaleng bekas, kain, dan lain-lain.

c Jenis Sampah Berdasarkan Bentuknya

1. Sampah cair, merupakan bahan cair yang tidak sudah tidak dibutuhkan dan dibuang ke tempat penampungan air limbah. Misalnya, sampah dari toilet, sampah cair dari tempat cucian dan sampah cair dari kegiatan dapur
2. Sampah padat, merupakan material yang dibuang oleh manusia akibat menurun atau hilangnya nilai fungsinya. Jenis sampah ini diantaranya plastik bekas, pecahan gelas, kaleng bekas, sampah dapur, dan lain—lain.

Sedangkan berdasarkan UU No. 18 Tahun 2008 sampah yang dikelola terdiri atas:

- a Sampah rumah tangga, yaitu sampah yang berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik
- b Sampah sejenis rumah tangga, berasal dari Kawasan komersial, Kawasan industri, Kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan/atau fasilitas lainnya
- c Sampah Spesifik, meliputi:
  1. Sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun
  2. Sampah yang mengandung limbah bahan berbahaya dan beracun
  3. Sampah yang timbul akibat bencana
  4. Sampah puing bongkaran bangunan atau sisa material bangunan
  5. Sampah yang secara teknologi belum dapat diolah, dan atau
  6. Sampah yang timbul secara tidak periodik

## 2.4 Karakteristik Sampah

Karakteristik sampah merupakan hal yang sangat menunjang dalam menyusun an dan pengolahan sampah secara terpadu di suatu kawasan terutama permukiman (Taufiqrrahman, 2016). Karakteristik sampah menurut eni (2002) dalam Hafazah (2022) dapat diklasifikasikan, sebagai berikut:



a Karakteristik fisik, meliputi :

1. Berat spesifik sampah; dinyatakan sebagai berat per unit ( $\text{kg/m}^3$ ). Dalam pengukuran berat sampah spesifik harus disebutkan bagaimana kondisi sampah saat diambil menjadi sampel. Berat spesifik sampah dipengaruhi oleh letak geografis, lokasi, jumlah musim, dan lama waktu penyimpanan sampah.
2. Kelembaban; kelembaban dapat dinyatakan dalam metode basah dalam persen berat basah bahan dan dapat dengan menggunakan metode kering yang dinyatakan sebagai persen berat kering bahan.
3. Ukuran Partikel; untuk mengetahui ukuran penyaringan dan pemisahan magnetic sampah
4. *Field Capacity*; yaitu jumlah air yang dapat tertahan dalam sampah, dan dapat keluar dari sampah akibat adanya gaya gravitasi. *Field Capacity* bervariasi tergantung dari perbedaan tekanan dan komposisi sampah. Di daerah permukiman tanpa adanya pemadatan *Field Capacity* mencapai 50-60%. *Field Capacity* sangat penting untuk dapat mengetahui komponen lindi dalam *landfill*.
5. Kepadatan Sampah; Konduktivitas sampah penting guna mengetahui pergerakan dari cairan dan gas dalam *landfill*.

b Karakteristik Kimia, meliputi:

1. Analisis proksimasi; bertujuan mengetahui bahan-bahan yang mudah terbakar. Biasanya dilakukan untuk mengetahui kandungan volatile, abu, karbon tetap dan kandungan air
2. Titik abu sampah, yaitu untuk mengetahui temperatur yang dapat membuat sampah yang dibakar dapat menghasilkan abu. Biasanya diperlukan temperatur 1100-1200°C untuk dapat membuat sampah berbentuk padatan dengan peleburan atau penggumpalan.
3. Analisis ultimasi; bertujuan menentukan karakteristik kimia bahan organik sampah secara biologis. Penentuan analisis ultimasi berupa persentase komponen C, H, N, S dan abu.

Kandungan energi; kandungan energi dari komponen organik sampah dapat ditentukan dengan *Bomb Calorimeter*.



- c Karakteristik Biologis, Fraksi organik dari sampah dapat dibedakan menjadi:
1. Kandungan terlarut seperti glukosa, asam amino, dan berbagai macam asam organik
  2. Hemiselulosa, yaitu hasil dari penguraian glukosa
  3. Lemak, minyak dan kandungan lilin
  4. Lignin, material polimer yang terbentuk dari cincin aromatic dengan gugus methoksil. Biasanya terdapat pada kertas, koran, majalah, dan *fiberboard*.
  5. Lignin Selulosa, kombinasi dari lignin dan selulosa
  6. Protein dari asam amino

## 2.5 Komposisi sampah

Komposisi merupakan pengelompokan komponen fisik sampah berdasarkan jenis dan karakteristiknya, komposisi sampah dinyatakan sebagai % berat basah atau % volume basah dari kertas, kayu, plastik, kulit atau karet, logam, kaca, kain, makanan, B3 dan lain-lain(Damanhuri & Padmi, 2011).

Tabel 1 Contoh Komposisi Sampah Domestik di Indonesia

Kategori Sampah	% Berat	% Volume
Kertas dan bahan-bahan kertas	32,98	62,61
Plastik, Kulit, dan Produk Kulit	6,84	9,06
Kayu dan Produk dari Kayu	0,38	0,15
Gelas dan Produk Kaca	16,06	5,31
Logam	10,74	9,12
Kain dan Produk Tekstil	6,36	5,1
Bahan Batu, Pasir	0,26	0,07
Sampah Organik	26,38	8,58

Sumber : (Damanhuri & Padmi, 2011).

Komposisi sampah permukiman menurut Tchobanoglous et al. (1993) dikelompokan sebagai berikut

- a Sampah makanan : yaitu jenis sampah makanan yang mudah membusuk atau sampah basah.
- b Sampah kebun : yaitu sampah daun dan ranting pohon
- c Sampah plastik : jenis sampah plastik dibedakan menjadi 7 kategori, yaitu:
  1. *Polyethylene terephthalate* (PET), berupa sampah botol plastik, misalnya botol bekas minuman



2. *High-density polyethylene* (HDPE), berupa plastik yang berbahan lunak dan keras, seperti tas/kantong plastik, bak plastik
  3. *Polyvinyl chloride* (PVC), berupa pipa, kabel, dan lainnya.
  4. *Low-density polyethylene* (LDPE), berupa kantong plastik atau bekas kemasan produk kecantikan
  5. *Polypropylene* (PP), berupa gelas plastik, sedotan, sendok plastik, dan sebagainya.
  6. *Polystyrene* (PS), berupa sterofom. Sampah jenis ini sering ditemukan pada bungkus makanan cepat saji, atau bungkus alat elektronik.
- d Sampah kertas, sampah kertas juga termasuk dalam komponen sampah yang berpotensi daur ulang. Jenis sampah kertas antara lain kertas putih HVS, koran, majalah, karton/kardus, dan lain sebagainya.
  - e Sampah kaca, jenis sampah kaca merupakan sampah yang mempunyai potensi dari segi nilai ekonomis. Sampah kaca dapat berupa botol kaca, yang dibedakan berdasarkan warnanya
  - f Sampah kain, jenis sampah kain biasanya berasal dari baju atau pakaian bekas yang sudah tidak digunakan kembali, kain bekas jahitan, dan lain sebagainya.
  - g Sampah karet, jenis sampah karet dapat berupa ban bekas atau pecahannya yang tidak terpakai.
  - h Sampah kayu, jenis sampah kayu biasanya berasal dari kayu-kayu bekas bangunan.
  - i Alumunium, jenis sampah alumunium dapat berupa kaleng bekas (bekas minuman berkarbonasi), dan alumunium bekas, seperti kerangka-kerangka bangunan.

## 2.6 Timbulan Sampah

Timbulan sampah berdasarkan SNI 19-2454-2002 adalah banyaknya sampah yang berasal dari kegiatan masyarakat dalam satuan volume atau berat per kapita per hari,



bangunan, atau perpanjangan jalan. (Damanhuri & Padmi, 2011)  
 dan timbulan sampah adalah banyaknya sampah dalam:

- a Satuan berat: kilogram per orang per hari (Kg/o/h) atau kilogram per meter persegi fasilitas per hari (Kg/m<sup>2</sup>/h) atau kilogram per tempat tidur per hari (Kg/bed/h), dsb
- b Satuan volume: liter/orang/hari (L/o/h), liter per meter-persegi bangunan per hari (L/m<sup>2</sup>/h), liter per tempat tidur per hari (L/bed/h), dsb. Kota-kota di Indonesia umumnya menggunakan satuan volume.

Timbulan (*generation*) sampah masing-masing sumber dapat bervariasi. Jumlah timbulan sampah biasanya akan berhubungan dengan elemen-elemen pengelolaan sampah antara lain:

- a Pemilihan peralatan, misalnya wadah, alat pengumpulan, dan pengangkutan
- b Perencanaan rute pengangkutan
- c Fasilitas untuk daur ulang
- d Luas dan jenis TPA.

Tabel 2 Besarnya timbulan sampah berdasarkan sumbernya

No.	Komponen Sumber Sampah	Satuan	Volume (L)	Berat (Kg)
1.	Rumah permanen	/orang/hari	2,25 - 2,50	0,350 - 0,400
2.	Rumah semi permanen	/orang/hari	2,00 - 2,25	0,300 - 0,350
3.	Rumah non permanen	/orang/hari	1,75 - 2,00	0,250 - 0,300
4.	Kantor	/pegawai/hari	0,50 - 0,75	0,025 - 0,100
5.	Toko	/pegawai/hari	2,50 - 3,00	0,150 - 0,350
6.	Sekolah	/murid/hari	0,10 - 0,15	0,010 - 0,020
7.	Jalan arteri sekunder	/m/hari	0,10 - 0,15	0,020 - 0,100
8.	Jalan kolektor sekunder	/m/hari	0,10 - 0,15	0,010 - 0,050
9.	Jalan lokal	/m/hari	0,05 - 0,10	0,005 - 0,025
10.	Pasar	/m <sup>2</sup> /hari	0,20 - 0,60	0,100 - 0,300

Sumber : (Damanhuri & Padmi, 2010)

Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi laju timbulan sampah menurut Rohim (2020), sebagai berikut:

- a Kepadatan, kegiatan dan jumlah penduduk.

Suatu daerah dengan jumlah penduduk yang lebih tinggi akan menghasilkan timbulan sampah yg lebih banyak dibandingkan dengan daerah yang berpenduduk rendah, demikian pula jenis dan jumlah



iataanya  
ografi

Faktor geografi memberikan pengaruh terhadap timbulan serta jenis sampahnya. Misalnya, sampah di daerah pegunungan akan berbeda dengan sampah daerah pesisir pantai

c Iklim dan Musim

Timbulan sampah di negara beriklim empat musim akan berbeda dengan negara beriklim dua musim. Timbulan dan jenis sampah saat musim gugur akan berbeda dengan musim dingin, Demikian pula timbulan sampah pada musim buah-buahan, panen, dan liburan yang akan meningkat dibanding musim hujan.

d Sosial Ekonomi dan Budaya

Sosial ekonomi dan budaya suatu masyarakat berhubungan dengan taraf hidup, selera, kebiasaan, tingkat Pendidikan, dan sebagainya yang akan mempengaruhi timbulan sampahnya

e Teknologi

Dengan teknologi sampah dapat didaur ulang, sehingga timbulannya akan berkurang, contoh lainnya adalah penggunaan incinerator dan penggunaan teknologi tinggi akan mempengaruhi jumlah timbulan sampah

f Sumber Sampah

Timbulan sampah yang berasal dari permukiman akan berbeda dengan sampah yang berasal dari permukiman dan akan berbeda dengan sampah yang berasal dari rumah sakit atau Laboratorium

### 2.6.1 Metode Pengukuran Timbulan Sampah

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk melakukan pengukuran timbulan sampah menurut Kementerian PU (2013), yaitu sebagai berikut:

*a Load-Count Analysis/Analisis Perhitungan Beban*

Jumlah masing-masing volume sampah yang masuk ke TPA dihitung dengan cara mencatat volume, berat, jenis angkutan dan sumber sampah, kemudian  
itung jumlah timbulan sampah kota selama periode tertentu



*ight-Volume Analysis/Analisis Berat-Volume*

Jumlah masing-masing volume sampah yang masuk ke TPA dihitung dengan cara mencatat volume dan berat sampah. Jumlah sampah yang masuk ke fasilitas jembatan penimbang sampah akan dicatat sehingga dapat diketahui dengan mudah dari waktu ke waktu. Jumlah sampah sampah harian kemudian digabung dengan perkiraan area yang layanan, dimana data penduduk dan sarana umum terlayani dapat dicari, maka akan diperoleh satuan timbulan sampah per ekivalensi penduduk

*c* **Material-Balance Analysis/Analisis Keseimbangan Bahan**

Menganalisa secara cermat aliran bahan yang masuk, aliran bahan yang hilang dalam sistem, dan aliran bahan yang menjadi sampah dari sebuah sistem yang batasannya telah ditentukan terlebih dahulu (system boundary). Material balance lebih baik menghasilkan data untuk sampah rumah tangga, institusi, industri dan material balance juga diperlukan untuk program daur ulang.

## 2.6.2 Prosedur Pengukuran Timbulan Sampah

Pengukuran berat maupun volume sampah sangat dipengaruhi oleh densitas sampah. Pengambilan contoh dilakukan dalam 8 hari berturut-turut pada lokasi yang sama. Pengukuran contoh timbulan sampah harus mengikuti SNI 19-2454-2002 sebagai berikut:

- a Tentukan lokasi pengambilan contoh dan jumlah tenaga pelaksana
- b Menyiapkan peralatan berupa kantong plastik, alat pengukur volume contoh berupa kotak berukuran 20 cm x 20 cm x 100 cm, kotak berukuran 10 cm x 0,5 cm x 1,0 cm, penggaris/meteran, timbangan (0-5) kg dan (0-100) kg, sekop, dan sarung tangan.
- c Bagikan kantong plastik yang sudah diberi tanda kepada sumber sampah 1 hari sebelum dikumpulkan
- d Catat jumlah unit masing-masing penghasil sampah
- e Catat jumlah unit masing-masing penghasil sampah  
 umpulkan kantong plastik yang sudah terisi sampah  
 ngkut seluruh kantong plastik ke tempat pengukuran



- h Timbang kotak pengukur dan tuang secara bergiliran contoh tersebut ke kotak pengukur 40
- i Hentak 3 kali kotak contoh dengan mengangkat kotak setinggi 20 cm. Lalu jatuhkan ke tanah
- j Ukur dan catat volume sampah ( $V_s$ )
- k Timbang dan catat berat sampah ( $B_s$ )
- l Timbang bak pengukur 500 L
- m Campur seluruh contoh dari setiap lokasi pengambilan dalam bak pengukur 500 L
- n Ukur, timbang dan catat berat sampah
- o Pilah contoh berdasarkan komponen komposisi sampah
- p Timbang dan catat berat sampah
- q Hitunglah komponen komposisi sampah

## 2.7 Pengolahan Sampah

Sampah sebagai barang yang masih bisa dimanfaatkan seharusnya dapat dimanfaatkan sebagai bahan mentah atau bahan yang berguna lainnya, agar tidak menambah beban TPA yang hanya diperuntukan untuk pembuangan residu. Pengolahan sampah harus dilakukan dengan efisien dan efektif, yaitu sebisa mungkin dekat dengan sumbernya, seperti dilingkungan RT/RW, sekolah, dan rumah tangga sehingga jumlah dapat dikurangi (Martindari, 2018). Pengolahan merupakan sebuah proses pengurangan maupun transformasi sampah ke bentuk lain yang memiliki nilai ekonomi, sampah yang masuk di unit pengolahan harus berdasarkan jenisnya. Permen PU Nomor 03/PRT/M/2013 menyebutkan bahwa pengolahan sampah harus mempertimbangkan karakteristik sampah, teknologi pengolahan yang ramah lingkungan, keselamatan kerja dan kondisi sosial masyarakat. Teknologi pengolahan sampah tersebut dapat berupa:

- a Teknologi pengolahan secara fisik yaitu pengurangan ukuran sampah, pemadatan, pemisahan secara magnetis, masa-jenis, dan optik

teknologi pengolahan secara kimia dengan melakukan pembubuhan bahan kimia atau bahan lain agar memudahkan proses pengolahan selanjutnya



- c Teknologi pengolahan secara biologi yaitu pengolahan secara aerobik dan atau secara anaerob seperti proses pengomposan dan atau biogasifikasi
- d Teknologi pengolahan secara termal dapat berupa insinerasi, pirolisis, dan atau gasifikasi
- e Pengolahan sampah dapat juga dilakukan dengan menggunakan teknologi pembakaran lainnya yang dapat menghasilkan bahan bakar atau disebut *Refused Derifed Fuel* (RDF)

Beberapa teknologi pengolahan sampah sesuai dengan konsep diatas, dapat dijabarkan sebagai berikut:

### 2.7.1 Pengomposan

Pengompos merupakan pengolahan limbah padat yang mengandung bahan organik (*biodegradable*) dengan memanfaatkan mikroorganisme. Prinsip pengomposan adalah dengan menurunkan nilai rasio C/N bahan organik menjadi sama dengan nilai rasio C/N tanah yaitu 10-12 (Wibisono dkk, 2016). Proses pengomposan berlangsung selama 1-3 bulan atau 4-6 bulan. Kecepatan dekomposisi dan kualitas kompos tergantung pada keadaan dan jenis mikroba yang aktif selama proses pengomposan (Saraswati & Praptana, 2021). Mikroba atau mikroorganisme yang terlibat dalam proses pengomposan menurut dibedakan menjadi dua, yaitu :

- a Mikroba mesofilik, yaitu mikroba yang hidup pada suhu 45°C, mikroba ini memiliki peran untuk menguraikan senyawa-senyawa kimia yang terdapat diatas permukaan bahan.
- b Mikroba termofilik, yaitu mikroba yang hidup pada suhu diatas 45°C, sehingga saat terjadi penguraian yang berjalan cepat suhu akan meningkat antara 55-75°C

Adapun tingkat kematangan kompos menurut Sulistyawati dkk (2007) dalam Hidayah (2018), indikasi kematangan kompos meliputi karakteristik fisik (bau, warna, tekstur menyerupai tanah, penyusutan berat mencapai 60%, pH netral dan suhu kompos yang stabil. Sedangkan yang dipersyaratkan dalam SNI 19-7030-



u :  
 asio C/N mempunyai nilai (10-20):1  
 .hu sesuai dengan suhu air tanah

- c Berwarna kehitaman dengan tekstur seperti tanah
- d Berbau tanah

Setiap mikroorganisme yang mendegradasi bahan organik membutuhkan lingkungan dan bahan dengan kondisi yang sesuai, sehingga dekomposer akan bekerja giat untuk mendekomposisi limbah padat organik tersebut. Sebaliknya apabila kondisi lingkungannya kurang atau tidak sesuai akan membuat organisme tersebut dorman hingga mati (Abdikarya et al., 2019). Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses pengomposan, yaitu:

- a. Rasio C/N

Rasio C/N paling efektif untuk proses pengomposan berkisar antara 30:1 hingga 40:1 yang mana mikroba akan mendapatkan cukup C untuk energi dan N untuk sintesis protein. Apabila rasio C/N terlalu tinggi, mikroba akan kekurangan N untuk sintesis protein sehingga dekomposisi berjalan lambat.

- b. Ukuran partikel

Permukaan area yang lebih luas akan meningkatkan kontak antara mikroba dengan bahan dan proses dekomposisi akan berjalan lebih cepat dikarenakan aktivitas mikroba yang berada diantara permukaan area dan udara. Ukuran partikel juga menentukan besarnya ruang antar bahan atau porositas. Sehingga untuk meningkatkan luas permukaan dapat dilakukan dengan memperkecil ukuran partikel bahan tersebut.

- c. Porositas

Porositas merupakan jarak ruang antar partikel di dalam tumpukan kompos. Porositas dihitung dengan mengukur volume rongga dibagi dengan volume total. Rongga-rongga tersebut akan diisi oleh air dan udara. Jika rongga jenuh akibat terlalu banyak air yang masuk, maka pasokan oksigen akan berkurang dan proses pengomposan akan terganggu.

- d. Kelembaban (*Moisture content*)

Mikroorganisme dapat memanfaatkan bahan organik apabila dilarutkan di dalam air. Kelembaban antara 40-60% adalah kisaran optimum untuk mikroba dapat melakukan metabolismenya. Jika Kelembaban lebih dari 60%, unsur hara akan terkunci dan volume udara akan berkurang,



sehingga mengakibatkan fermentasi anaerob yang memicu bau tidak sedap akibat dari aktivitas mikroba yang menurun.

e. Temperatur/Suhu

Semakin tinggi temperatur maka konsumsi oksigen dan akan semakin cepat sehingga proses dekomposisi akan menjadi lebih cepat pula. Temperatur kompos yang berkisar antara 30-60°C menunjukkan aktivitas pengomposan yang cepat. Sedangkan suhu yang lebih tinggi dari 60°C akan membunuh sebagian mikroba dan hanya mikroba termofilik saja yang akan tetap bertahan hidup

f. pH

pH yang optimum untuk proses pengomposan berkisar antara 6.5-7.5. Didalam proses pengomposan akan terjadi pelepasan asam secara temporer atau local yang akan menyebabkan penurunan pH (pengasaman) sedangkan produksi amonia dari senyawa-senyawa yang mengandung nitrogen akan meningkatkan pH pada fase-fase awal pengomposan. pH kompos yang sudah matang akan mendekati pH netral.

Berdasarkan pedoman penyelenggaraan Tempat Pengolahan Sampah (TPS) 3R PUPR (2014), Beberapa teknologi pengolahan kompos berdasarkan prosesnya dapat dibedakan sebagai berikut:

a. Komposting Aerobik

Komposting yang menggunakan oksigen, memanfaatkan energi yang disebabkan oleh adanya *transport electron* dari electron donor menuju *external electron* oleh oksigen. Beberapa metode pengomposan aerobik yaitu:

1. *Open Windrow* (Metode Lajur Terbuka)

Pengomposan sistem *Open Windrow* adalah cara pembuatan kompos di tempat terbuka beratap dengan aerasi ilmiah. Proses pengomposan membutuhkan waktu selama 4-6 minggu. Selama proses pengomposan diperlukan pemantauan beberapa parameter seperti pengukuran pH, Temperatur dan kadar airnya setiap hari. Adapun ketentuan kapasitas tumbukan untuk metode *Open Windrow*, yaitu :



- a) Tumpukan sampah yang ideal adalah tinggi maksimum (T) 1.5 m, lebar (L) maksimum 1.75 m, dan panjang (P) maksimum 2 m.
- b) Jumlah sampah yang dikomposisikan adalah 60-70% sampah organik
- c) Volume setiap tumpukan sampah dihitung dalam V (m<sup>3</sup>)
 
$$V = P \times L \times T \quad (1)$$
- d) Jumlah volume seluruh tumpukan dalam A (m<sup>3</sup>)
 
$$A = n \times V \quad (2)$$
 dimana :  
 n = jumlah tumpukan, maksimum harus ada jarak 1.5 m antara tumpukan memanjang
- e) Kebutuhan minimum pasokan sampah selama 60 hari proses.  
Pasokan sampah per hari = P/60
- f) Perhitungan hasil produksi adalah 25 % dari jumlah tumpukan awal, hal ini karena penyusutan bahan organik selama proses pengomposan 75%

## 2. *Caspary* (Metode Cetakan)

Proses pengomposan dengan menggunakan alat cetak untuk membentuk sampah dalam bentuk kubus. Proses pengomposan ini memerlukan lahan yang luas. Dimensi untuk pengomposan metode *Caspary*, yaitu lebar (L) 1 m, Panjang (P) 1m, dan tinggi (T) 1 m.

## 3. *Open Bin* (Metode Bak Terbuka)

Proses pengomposan *Open Bin* sampah cukup dimasukkan pada bak-bak terbuka. Sampah organik dimasukkan pada bak terbuka sampai penuh sambil disiram dan dipadatkan. Pembalikan dapat dilakukan di dalam bak dengan alat pembalik atau dengan memindahkan kompos ke bak berikutnya. Pengomposan ini termasuk dalam skala Kawasan, dilakukan terpusat dengan kapasitas sampah antara 1-2 ton/hari. Pematangan kompos metode ini dapat mencapai waktu 2 bulan, cenderung lebih lambat dari kematangan kompos menggunakan metode berbeda, hal ini dikarenakan pengudaraan bak terbuka sedikit terbatas.



Adapun dimensi volume tumpukan sampah untuk pengomposan *Open Bin*, yaitu lebar (L) 1 m, Panjang (P) 2 m, dan tinggi (T) 1 m.

#### 4. Takakura Susun

Komposting ini dilakukan dengan melakukan penimbunan terhadap sampah organik ke dalam keranjang berongga. Rongga pada keranjang ini dimaksudkan untuk keperluan aerasi yang optimal.

Berdasarkan uraian jenis metode pengomposan aerobik, berikut disajikan tabel 3 untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan metode masing-masing

Tabel 3 Kelebihan dan kekurangan metode pengomposan aerobik

Metode	Kelebihan	Kekurangan
<b><i>Open Bin</i></b> <b>(Bak Terbuka)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sampah tidak terlihat dari luar</li> <li>2. Area pengomposan terlihat rapi</li> <li>3. Volume sampah yang terolah sama</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Padat modal</li> <li>2. Tinggi kotak terbatas</li> <li>3. Penggunaan terbatas</li> </ol>
<b><i>Open Windrow</i></b> <b>(Lajur Terbuka)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>b. Modal lebih ringan dibandingkan metode <i>open bin</i></li> <li>c. Tumpukan sampah mencapai tinggi optimal (1.5 m)</li> <li>d. Penggunaan lahan fleksibel</li> <li>e. Proses pembalikan lebih mudah dibandingkan metode <i>open bin</i> dan <i>caspary</i></li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Volume sampah tercetak sama untuk setiap tumpukan</li> <li>2. Tumpukan sampah rentan terhadap tiupan angin</li> <li>3. Tumpukan sampah mudah roboh</li> </ol>
<b><i>Caspary</i></b> <b>(Cetakan)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tumpukan sampah terlihat rapi</li> <li>2. Volume sampah tercetak lebih banyak dan seragam</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proses pembalikan kompos lebih rumit dari <i>open bin</i> dan <i>open windrow</i></li> </ol>



Metode	Kelebihan	Kekurangan
	3. Tumpukan sampah tidak mudah runtuh dan tahan terhadap tiupan angin	
<b>Takakura Susun</b>	1. Hemat lahan 2. Proses komposting berlangsung cepat 3. Proses rapi dan sangat terstruktur	1. Biaya investasi cukup tinggi 2. Membutuhkan banyak pekerja 3. Monitoring kompleks, sebab tiap-tiap kontak Takakura perlu dilakukan monitoring

Sumber : Materi Penyelenggaraan Tempat Pengolahan sampah 3R Kementerian PU 2014

- b. Komposting Anaerob terjadi dengan bantuan bakteri obligate Anaerob. Pengomposan aerobik memiliki produk sampingan berupa gas bio ramah lingkungan yang dapat menjadi sumber energi alternatif, namun kelemahan dari pengomposan anaerob ini yaitu memerlukan kapasitas lahan yang besar untuk pembuatan reaktor yang tertutup sehingga memerlukan biaya yang lebih mahal. Hasil dari setiap  $1\text{m}^3$  biogas dapat menghasilkan 5500 kcal atau 0.58 liter atau 5.80 Kwh listrik. Dalam pembentukan biogas oleh sampah organik menurut (Hidayah, 2018) akan mengalami 3 tahapan diantaranya :

- a. Tahap hidrolisis

Pada tahap ini terdapat bakteri pemutus rantai panjang karbohidrat kompleks, lipida, dan protein menjadi senyawa pendek

- b. Tahap asidifikasi

Tahap ini bakteri *acetovabteraceti* yang mengubah senyawa rantai pendek menjadi asam asetat, karbon dioksida, dan hydrogen termasuk reaksi eksotermis sehingga menghasilkan energi.



c. Tahap pembentukan gas metana

Pada reaksi eksotermis pada pembentukan gas metana terdapat bakteri *methanobacteriumomelianski* yang mempunyai fungsi mengubah senyawa pada proses asidifikasi menjadi CO<sub>2</sub> dan metana.

### 2.7.2 Larva *Black Soldier Fly*

Larva dari serangga *Black Soldier Fly* atau dengan nama latin *Hermetia illucens* merupakan lalat yang berasal dari Amerika yang selanjutnya tersebar di berbagai wilayah subtropik dan tropis di dunia, salah satunya Indonesia (Kulson Munir, Dodit Ardiatma, n.d.,2022). BSF dapat hidup di cuaca yang ekstrim. Menurut Rofi (2020) ketika cuaca ekstrim BSF tidak akan mati melainkan akan mengalami vakum atau tidak aktif hingga kondisi lingkungan hidupnya kembali normal.

Karakteristik serangga *black soldier fly* atau yang biasa disebut juga dengan maggot, berwarna hitam pekat dan bersayap coklat transparan, jika sekilas menyerupai abdomen lebah dengan panjang tubuh lalat berkisar antara 15-20 mm. Sayap lalat ketika masih dalam proses perkembangan dari pupa ke dewasa akan terlipat kemudian mulai mengembang sempurna disaat lalat tersebut dewasa hingga panjangnya menutupi bagian torak. Pada lalat BSF dewasa tidak memiliki bagian mulut yang fungsional, karena pada fase lalat dewasa hanya beraktivitas untuk kawin dan bereproduksi sepanjang hidupnya. Lalat akan mati ketika simpanan lemak dalam tubuhnya habis. Simpanan lemak tersebut didapatkan pada saat fase pupa (Rofi, 2020). Maggot mampu mengurai limbah organik selama 12-13 hari. Terhitung dari hari setelah menetas larva *black soldier fly* dapat mereduksi limbah organik dengan tingkat reduksi sampah mencapai 55% berdasarkan berat sampah bersih yang diberikan (Nofiyanti et al., 2021)

Siklus kehidupan BSF dari telur hingga menjadi lalat dewasa berlangsung selama 40-44 hari. Dalam siklus hidupnya lalat BSF ini memiliki empat fase, diantaranya: fase dewasa, fase telur, fase prepupa, dan fase pupa. Dari empat fase

yang paling aktif mengurangi sampah organik yaitu pada fase ketiga (Rofi, 2020). Pada tahap prepupa hingga menjadi lalat dewasa, BSF akan cadangan lemak sebagai pengganti konsumsi makanan dan akan



bermigrasi ke tempat yang gelap dan kering (Kulson Munir, Dodit Ardiatma, n.d., 2020)



Gambar 1 Siklus Hidup *Black Soldier Fly*

Sumber : Waste4Change

Menurut Nofiyanti et al., (2021) Proses biokonversi dengan budidaya larva BSF menghasilkan tiga produk seperti larva BSF (sebelum pupa BSF) yang dapat dijadikan sebagai sumber protein alternatif pakan ternak dan ikan. Produk kedua yaitu cairan hasil aktivitas larva yang dapat dijadikan sebagai pupuk cair. Produk yang ketiga adalah sisa sampah organik kering (sisa pakan maggot) bisa dijadikan sebagai bahan pembuatan pupuk kompos. pemanfaatan hasil dari BSF baik berupa tepung ikan, pakan alternatif, bahan baku biodiesel terdapat di fase keempat (pupa). Hal ini menjadi peluang bagi dalam mengolah sampah organik (Nofiyanti et al., 2021).

Menurut (Saragi, 2015) dalam pemanfaatan larva BSF dalam mereduksi sampah, harus memperhatikan beberapa faktor, sebagai berikut:



a Pola makan larva BSF

Umumnya, larva BSF memiliki pola makan yang searah horizontal dengan makanannya, dan bergerak vertikal saat akan mengekstrak nutrient yang terdapat pada lindi yang dihasilkan oleh pembusukan sampah makanan yang diberikan.

b Ketersediaan oksigen yang cukup pada tempat pembiakan

Larva BSF membutuhkan oksigen untuk bernafas dan tidak menyukai tempat dengan kadar karbondioksida yang tinggi. Pada saat kadar reaktor tempat pembiakan maggot tinggi, maka maggot akan berusaha keluar mencari sumber oksigen.

c Kadar air sampah

Kadar air sampah akan mempengaruhi waktu konsumsi BSF terhadap sampah yang diberikan. Batas optimum larva BSF dalam mengkonsumsi sampah yaitu dalam rentang 60-90%. Semakin tinggi kadar air sampah yang menjadi makanan BSF cenderung akan membuat larva BSF keluar dari reaktor pembiakan, dan jika kadar air makanan yang diberikan juga akan menghambat proses pencernaan larva BSF.

d Ketersediaan cahaya

Sebagai hewan fotofobia, saat di fase larva BSF akan cenderung menjauhi sumber cahaya dan pada fase prepupa BSF akan keluar secara alami dari reaktor pembiakan untuk mencari tempat yang kering dan mencari sumber cahaya sebelum menjadi kepompong

### 2.7.3 Pirolisis

Pirolisis adalah metode pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar cair dengan teknologi pembakaran pada temperatur diatas temperatur titik didih beberapa jenis plastik tanpa menggunakan oksigen (Nugroho, 2020). Metode pirolisis menggunakan sumber panas eksternal untuk mendorong terjadinya reaksi endotermal pada keadaan tanpa oksigen. Menurut (Ridhuan et al., 2019) ada tiga komponen utama yang dihasilkan pada pirolisis, antara lain yaitu :



rang (*Char*) yang memiliki nilai kalori yang tinggi sehingga dapat digunakan menjadi karbon aktif

- b. Asap Cair (*Bio-Oil*) yang dihasilkan dapat digunakan sebagai zat aditif pengawet makanan tertentu
- c. Gas dari produk pirolisis dibedakan menjadi gas yang tidak dapat dikondensasi ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ) dan gas yang dapat dikondensasi (tar). Pada saat proses kondensasi tar tersebut akan menghasilkan minyak yang disebut sebagai asap cair

Proses pirolisis akan mengalami perubahan secara fisik maupun kimia. Perubahan itu dipengaruhi oleh beberapa faktor dominan Tumuluru (2011) dalam Situmorang (2021), seperti :

- a. Temperatur  
Temperatur akan menentukan tingkat dekomposisi material, waktu tinggal, dan produk pirolisis. Dalam dekomposisi pirolisis temperatur reaksi berada pada kisaran  $200\text{-}600^\circ\text{C}$
- b. Kadar air dalam material lignoselulosa  
Kadar air pada pirolisis sangat berpengaruh dengan tingkat efisiensi pembakaran. Kadar air yang tinggi akan menambah waktu retensi dan kehilangan energi panas yang besar, sehingga mengganggu kebutuhan termal yang berdampak pada jenis dan kualitas produk yang dihasilkan.
- c. Waktu reaksi  
Waktu retensi berkaitan dengan lamanya waktu material dalam reaktor. Waktu reaksi akan mempengaruhi proses depolimerisasi, dekomposisi, dan karbonisasi saat proses pirolisis berlangsung.
- d. Ukuran partikel sampah  
Ukuran partikel memberikan pengaruh terhadap luas permukaan kontak perpindahan panas antara material dan sumber panas selama proses dekomposisi termal terjadi.
- e. Laju pemanasan  
Laju pemanasan akan menentukan komposisi produk yang dihasilkan dari proses pirolisis.



ehadiran oksigen

ksigen menjadi pemeran penting dari terjadinya dekomposisi termal gnoselulosa akibat reaksi oksidasi antara material organik dan oksigen.

g. Tekanan

Tekanan akan mempengaruhi banyaknya material bahan yang dapat terdegradasi selama proses termal terjadi. Tingginya tekanan juga dapat mempengaruhi produk dominan yang dihasilkan dengan temperatur dan waktu reaksi tertentu.

Selain faktor-faktor tersebut, sistem kerja yang terjadi di dalam pirolisis juga dapat dipengaruhi oleh reaktor yang digunakan. Reaktor adalah tempat memproses bahan dasar secara kimia maupun fisika untuk menjadi produk baru, dengan mempertimbangkan aspek kinerja alat, keselamatan, dan biaya operasional (Situmorang, 2021). Beberapa jenis reaktor pirolisis dapat dibedakan menjadi 7, yaitu:

a. *Fixed or moving bed*

Reaktor ini dapat menangani biomassa dengan kandungan air dan mineral yang tinggi namun kandungan tar yang dihasilkan oleh reaktor jenis *Fixed or moving bed* dapat mencapai 10-20% dari berat massa bahan uji, sehingga harus terus dibersihkan sebelum digunakan untuk pengoperasian berikutnya.

b. *Bubbling fluidized bed*

Reaktor ini dapat dioperasikan pada tekanan udara 1 atm dan temperatur sedang 450°C, menghasilkan bio-oil hingga 75% dari massa bahan uji dan menggunakan pasir silika sebagai fluidisasi, sehingga cocok untuk pengaplikasian gasifikasi *fluidized bed*.

c. *Circulating fluidized bed*

Reaktor ini cocok untuk reaksi cepat karena seluruh material padatan akan dipisahkan dari gas menggunakan *dusting equipment*, Nilai konversi yang tinggi dan produksi tar yang rendah. Namun reaktor ini memiliki perpindahan panas yang tidak efisien.

d. *Ultra rapid pyrolyzer*

Reaktor ini memiliki suhu pemanasan yang tinggi, yaitu mencapai 650°C, dengan hasil bio-oil sebanyak 90% dari biomassa bahan uji.



e. *Rotating cone*

Biomassa bahan uji akan mengalami pemanasan yang cepat di dalam reaktor ini, sehingga abu yang dihasilkan dari biomassa akan jatuh akibat adanya putaran dari wadah reaktor.

f. *Ablative pyrolyzer*

g. Reaktor *Ablative pyrolyzer* melibatkan tekanan tinggi antara partikel dan media pemanas, tingginya transfer panas yang terjadi maka waktu yang dibutuhkan akan lebih cepat dengan persentase hasil produk berupa gas yang sedikit dan 80% berupa cairan.

h. *Vacuum pyrolyzer*

Reaktor bertingkat dari suhu 200-400°C. Bahan uji dimasukkan ke bagian atas kemudian akan mengering saat turuddn ke reaktor bagian bawah sehingga menjadi arang. Pemanasan yang lambat akan meningkatkan jumlah arang dan menghasilkann cairan yang banyak.

#### 2.7.4 Daur Ulang

Pengolahan sampah daur ulang dimaksudkan agar dapat mengurangi volume atau mengubah bentuk sampah khususnya sampah anorganik yang sulit terurai sehingga dapat dimanfaatkan kembali menjadi produk baru yang memiliki nilai guna yang baru. Penanganan daur ulang sampah anorganik dapat dilakukan dengan beberapa cara (Tohri, 2019) yaitu :

a. *Reduce* (Mengurangi Penggunaan)

*Reduce* adalah mengurangi dan meminimalisir penggunaan barang-barang yang mengandung kimia berbahaya dan tidak mudah terdekomposisi sehingga menekan jumlah sampah.

b. *Reuse* (Menggunakan Ulang)

Penggunaan kembali suatu produk lebih dari sekali, baik untuk tujuan yang sama ataupun berbeda.

c. *Recycle* (Daur Ulang)

Kegiatan mengolah barang yang tidak terpakai menjadi produk baru yang upat digunakan kembali dan memiliki nilai tambah. Seperti pengomposan, pembuatan batako dan briket.



## 2.8 Tingkat Reduksi Sampah dan *Recovery Factor*

*Recovery factor* adalah persentase setiap komponen sampah yang dapat dimanfaatkan kembali, dan selebihnya yang tidak dapat dimanfaatkan kembali menjadi residu yang memerlukan tempat pembuangan akhir atau pemusnahan (Trihadiningrum et al., 2015). Tingkat reduksi dan *recovery factor* sampah beberapa jenis sampah secara umum menurut (Trihadiningrum et al., 2015), disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4 *Recovery Factor* sampah

Jenis Sampah	Recovery Faktor (%)
Sampah Organik	80
Sampah Plastik	50
Sampah Kertas	40
Sampah Logam	80
Sampah Kaca	70

Sumber : Trihadiningrum et al., (2015).

Analisis potensi daur ulang masing-masing komposisi sampah diatas menurut Trihadiningrum et al., (2015). dapat diketahui dengan menggunakan rumus *recovery factor* berikut:

$$RF = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \% \quad (3)$$

Keterangan :

$W_1$  = Berat sampah total

$W_2$  = Berat sampah yang dimanfaatkan

Sedangkan untuk tingkat reduksi dari masing-masing metode pengolahan, dapat dihitung dengan rumus berikut:

- a. Komposting

Dari beberapa metode kompos, yang paling efektif diaplikasikan dalam skala kawasan adalah metode *komposting open windrow*. Menurut Naufal Rozan et al., (2021) kriteria desain, perhitungan volume dan



jumlah windrow, luas lahan penyimpanan dan WRI dari kompos open windrow yaitu :

1. Kriteria Desain

Lebar bawah ventilasi = 0,6-0,9 m

Tinggi timbunan = 1,75 m

Lebar timbunan = 2,5-3,5 m

2. Volume Windrow

Volume aerator

$$V = \frac{(p \times l \times t)}{2} \quad (4)$$

Luas area melintang (model trapesium)

$$L = (a+b) \times \left(\frac{t}{2}\right) \quad (5)$$

Volume setiap windrow

$$V = \text{Luas area melintang (m}^2\text{)} \times \text{Panjang windrow (p)} \quad (6)$$

Volume timbunan kompos tanpa aerator

$$V = V \text{ setiap windrow} - V \text{ aerator} \quad (7)$$

3. Jumlah Windrow

$$\Sigma \text{Windrow} = \frac{\Sigma V \text{ Pengomposan}}{V \text{ setiap windrow}} \quad (8)$$

4. Luas lahan penyimpanan kompos

$$\text{Luas} = \sqrt{\frac{\text{Volume}}{\text{Tinggi tumpukan}}} + 1 \text{ m} \quad (9)$$

5. Loading Rate Kompos

Secara ideal proses pengomposan sampah akan berkurang 60-70% dari berat awal sampah (Budihardjo, 2006 dalam Naufal Rozan et al.,2021)

$$\text{LR (kg/jam)} = \frac{\Sigma \text{Berat sampah pengomposan}}{\text{waktu operasional}} \quad (10)$$

b. *Black Soldier Fly*

Untuk mengetahui tingkat reduksi sampah oleh larva menurut Zurich & S. Diener, (2010) sebagai berikut :

$$D = \frac{W-R}{W} \quad (11)$$

$$\text{WRI} = \frac{D}{t} \times 100 \quad (12)$$



Keterangan :

D = Penurunan total (g)

W = Jumlah total (g)

R = Sisa pakan total setelah waktu tertentu (g)

WRI = *Waste Reduction Index* (%/hari)

t = Total waktu larva makan (hari)

c. Pirolisis

Beberapa rumus perhitungan pirolisis menurut Menurut W. Djoko Yudisworo, 2014 dalam Mokhtar et al.(2018), sebagai berikut:

1. Perhitungan kebutuhan panas

$$Q = m_{\text{plastik}} \times C_{p_{\text{plastik}}} \times \Delta T_{\text{plastik}} \quad (13)$$

$$\Delta T_{\text{plastik}} = (T_2 - T_1) \quad (14)$$

Keterangan:

Q = Kalor (kJ)

$C_p$  = Kalor spesifik (J/kg°C)

$m_{\text{plastik}}$  = Massa plastik (kg)

T = Temperatur (°C)

2. Kebutuhan jumlah bahan bakar LPG

$$n = \frac{Q_{\text{total}}}{\eta_k \times LHV} \quad (15)$$

Keterangan :

n = Jumlah LPG yang dibutuhkan

$Q_{\text{total}}$  = Kebutuhan kalor dalam sekali proses pirolisis (Kj)

$\eta_k$  = Efisiensi ketel 80%

LHV LPG = 144,664 kJ/kg

Berdasarkan penelitian Ardiyanti (2021):

3. Kriteria desain dimensi pirolisis

Pirolisis yang digunakan adalah IPI AWS 50, dengan spesifikasi pada gambar berikut.





Model		AWS 50	
Capacity		m <sup>3</sup> /Jam	1
Produksi	Hot water	kg/Jam	300
	Hot Air	ada	ya
	Fertilizer Ash	ada	ya
power		Watt	300
Voltage		volt	110 to 220
solar panel option		Watt	0
Emission		ppm	Comply to standard
Noise		Decibel	< 85
Dimension	H x W x L	mm3	5000x1400x3850
Weight		ton	4
Reactor Pyrolysis volume		mm <sup>3</sup>	1000

Gambar 2 Spesifikasi Reaktor Pirolisis IPI AWS 50, Indopower Internasional

Sumber: Ardiyanti (2021)

Tabel 5 Kriteria desain reactor pirolisis

Kriteria Desain	
Panjang	3,85 m
Lebar	1,4 m
Tinggi	5 m
Kapasitas pengolahan	1000 kg/jam
Kadar Abu	12% bahan uji/jam

#### 4. Sampah ter pirolisis

$$\text{Sampah ter pirolisis(kg)} = \Sigma \text{sampah di pirolisis} - \text{Abu sisa} \quad (16)$$

Berdasarkan penyederhanaan turunan rumus metode inputoutput (direct) menurut United Nations Environment Programe, 2006 dalam Rania et al.(2019);

#### 5. Efisiensi Konversi Hasil Pirolisis

$$\text{CE} = \frac{W_0}{W_{sm}} \times 100 \% \quad (17)$$

Keterangan :

CE = Efisiensi Konversi (%)

$W_0$  = Berat minyak yang dihasilkan (g)

$W_{sm}$  = Berat umpan plastik (g)



## 6. Efisiensi Pengurangan Limbah Hasil Pirolisis

$$\text{WRE} = \frac{W_{sm} - W_c}{W_{sm}} \times 100 \% \quad (18)$$

Keterangan:

WRE = Efisiensi pengurangan limbah (%)

$W_c$  = Berat char di reaktor (g)

$W_{sm}$  = Berat umpan plastik (g)

## 2.9 Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)

Tempat Pemrosesan Akhir menurut SNI 03-3241-1994, 1994 adalah tempat memproses dan mengembalikan sampah secara aman bagi manusia ke media lingkungan. Hal ini belum sesuai dengan kondisi TPA di Indonesia yang masih menggunakan sistem *open dumping*. Sedangkan menurut Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/PRT/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana Dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, TPA dengan metode *open dumping* harus ditutup dan diganti dengan metode yang ramah lingkungan, yakni dengan metode lahan urug saniter/*sanitary landfill* untuk kota besar dan kota metropolitan, dan metode lahan urug terkendali/*controlled landfill* untuk kota sedang dan kota kecil.

Beberapa sarana teknologi yang ada untuk mengalihkan sampah yang menuju TPA yaitu insinerasi dengan produksi energi, kompos dari sampah organik, dan pemulihan bahan melalui daur ulang (Yahya, 2018). Reduksi sampah yang dilakukan dapat memperpanjang umur TPA 3 sampai 4 bulan sesuai dengan teknologi pengolahan, operasional dan *maintenance* peralatan TPA (Dwi Santoso, 2018). Umur pakai TPA dapat diartikan sebagai lama waktu dari penggunaan ataupun pengoperasian TPA dengan mengacu pada kapasitas sampah yang dapat ditampung oleh TPA selama pengoperasian (Fadhilurrahman & Burhanuddin, 2021)

Berdasarkan petunjuk teknis Nomor CT/S/Re-CT/004/98, Adapun perhitungan umur pakai dan Luas Lahan dan sisa umur TPA, dapat dihitung dengan persamaan



- a Volume sampah terpadatkan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V = A \times E \quad (19)$$

Keterangan:

V = Volume sampah terpadatkan (m<sup>3</sup>/hari)

A = Volume sampah (m<sup>3</sup>/hari)

E = Tingkat pemadatan

- b Luas lahan TPA yang dibutuhkan selama satu tahun dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$L = \frac{V \times 365}{T} \times 1,15 \quad (20)$$

Keterangan:

L = Luas TPA yang dibutuhkan selama satu tahun (m<sup>2</sup>)

V = Volume sampah terpadatkan (m<sup>3</sup>/hari)

T = Tinggi timbunan perencanaan (m)

- c Metode analisis umur pakai TPA

1. Sisa daya tampung = total volume sampah tahun n – selisih daya tampung
2. Sisa umur pakai = sisa/volume sampah per hari

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/PRT/M/2013 tentang Penyelenggaraan Prasarana Dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga pada lampiran III, dalam pembuatan TPA harus memperhatikan kesesuaian tata ruang, rencana pemanfaatan lahan bekas TPA, dan rencana pembuangan. Pemilihan lokasi TPA sampah harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. TPA sampah tidak boleh berlokasi di danau, sungai dan laut
- b. Disusun berdasarkan 3 tahapan yaitu :
  1. Tahap regional yang merupakan tahapan untuk menghasilkann peta yang berisi daerah atau tempat dalam wilayah tersebut yang terbagi menjadi beberapa zona kelayakan. Adapun kriteria zona layak untuk kriteria regional meliputi kondisi geologi, kondisi hidrogeologi, kemiringan zona harus kurang dari 20%, jarak dari lapangan terbang harus lebih besar dari



3.000 meter untuk penerbangan *turbo jet* dan harus lebih besar dari 1.500 meter untuk jenis lain, tidak boleh pada daerah lindung/cagar alam dan daerah banjir dengan periode ulang 25 tahun.

2. Tahap penyisih yang merupakan tahapan untuk menghasilkann satu atau dua lokasi terbaik diantara beberapa lokasi yang dipilih dari zona-zona kelayakan pada tahap regional. Adapun kriteria penyisih dalam memilih lokasi terbaik meliputi kriteria regional, iklim, utilitas, lingkungan biologi, kondisi tanah, demografi, batas administrasi, kebisingan, bau, estetika, dan ekonomi.
  3. Tahap penetapan yang merupakan tahap penentuan lokasi terpilih oleh Instansi yang berwenang
- c. Dalam hal suatu wilayah belum bisa memenuhi tahap regional, pemilihan lokasi TPA sampah ditentukan berdasarkan pemilihan lokasi TPA yang dapat dilihat pada lampiran kriteria yang berlaku pada tahap penyisi

## 2.10 Model Sistem Dinamis

Sistem dinamis pertama kali dikembangkan sebagai metodologi simulasi pemodelan berbasis komputer oleh Jay Forrester dari MIT tahun 1950-an. Sistem dinamis terdiri atas dua kata yaitu sistem yang diartikan sebagai kumpulan bagian yang saling berinteraksi dalam rangka mempertahankan keberadaan dan fungsinya untuk mencapai suatu tujuan dalam lingkungan yang kompleks, sedangkan dinamis mengimplikasikan adanya perubahan yang terus-menerus yang dilakukan oleh sistem (Lukmanuhakim Almamalik dan Hendang SR, 2023). Sistem dinamis merupakan suatu cara berpikir tentang sistem jaringan yang saling berhubungan antar variabel yang telah ditetapkan untuk mendeskripsikan, memodelkan, dan mensimulasikan dari waktu ke waktu terus berubah (Surjandari et al., 2009)

Menurut Michael, K (2011), membagi penerapan sistem dinamik dalam beberapa bidang yaitu 1) *external forces and legislation*, 2) *corporate governance*, 3) *planning, resourcing and budgeting*, 4) *human resource management dilemmas*, 5) *improving quality*, 6) *microworlds*, 7) *enrollment demand*. Sistem dinamik akan hasil data analisis berupa diagram dari sistem yang dimodelkan akan ikon grafis. *Software-software* sistem dinamis dapat mensimulasikan



model matematika yang diinput ke dalam sistem. Beberapa *software* pemodelan dinamis yang sering digunakan adalah Vesim, Powesim, dan Stella.

### 2.10.1 Tahapan Penyusunan Model

Model didefinisikan sebagai suatu penggambaran dari sistem yang telah dibatasi yang meliputi semua variabel dan konsep yang saling berhubungan dengan permasalahan dinamik yang ditentukan, merupakan tiruan bentuk sederhana yang mempresentasikan karakteristik sistem di dunia nyata untuk tujuan peramalan (*forecasting*)(Aminudin, 2014).

Menurut (Erma, 2021) Pemodelan merupakan suatu proses pembentukan model dari sebuah sistem yang merupakan gambaran dari sistem. Perancangan model dari sebuah sistem dimulai dari proses simulasi sebagai alat untuk menciptakan sistem dengan kinerja tertentu. Adapun Langkah-langkah penyusunan model, sebagai berikut:

a. Pendefinisian Sistem

Penentuan batasan sistem mengenai identifikasi variabel signifikan yang akan dimasukkan ke dalam sistem.

b. Formulasi Model

Menyusun formulasi hubungan antar komponen atau variabel-variabel model.

c. Pengambilan Data

Mengidentifikasi dan mengumpulkan data-data yang diperlukan oleh model yang disesuaikan dengan tujuan dibuatnya.

d. Pembuatan Model

Setelah memiliki data dan persamaan modelnya, maka dilanjutkan dengan pembuatan model yang disesuaikan dengan jenis Bahasa simulasi yang digunakan sehingga dapat menampilkan diagram hasil yang sesuai tujuannya.

e. Verifikasi Model

Tahap ini merupakan tahap pengecekan bebas *error* terhadap model dengan dengan memeriksa formulasi dan unit setiap variabel.



lasi Model

ah model terverifikasi dan dapat di *running* selanjutnya adalah validasi model yaitu proses pengujian apakah model yang dibuat telah

sesuai dengan keadaan nyatanya. Ada tiga cara pengujian untuk memvalidasi model menurut (Wirjodirdjo, 2012), yaitu:

1. Uji Struktur Model (*Model Structure Test*)
  2. Uji Parameter Model (*Model Parameter Test*)
  3. Uji Kondisi Ekstrim
- g. Skenario (Eksperimen) terhadap Model
1. Skenario Parameter, dilakukan dengan mengubah nilai parameter model untuk melihat dampaknya terhadap output model.
  2. Skenario Struktur, dilakukan dengan mengubah struktur model agar struktur yang baru dapat memperbaiki kinerja sistem atau memperbaiki permasalahan yang ada.

### **2.10.2 STELLA (Systems Thinking, Experimental Learning Laboratory with Animation)**

Stella merupakan perangkat lunak yang dikembangkan pada tahun 1985 oleh Barry Richmond yang merupakan bentuk lain dari bahasa pemrograman bergambar untuk pemodelan. Pemodelan sistem dinamik memungkinkan pandangan menyeluruh tentang kompleksitas masalah persampahan. Penggunaan Stella untuk memprediksi gambaran tentang pengelolaan dan pengolahan sampah juga telah banyak digunakan di dunia mulai dari aspek sederhana hingga ke aspek biaya dan energi produksi limbah suatu industri. Simulasi model menggunakan *software* stella telah dilakukan untuk menghitung timbulan sampah di perkotaan, kapasitas TPA dan hubungan manajemen biaya di Amerika Serikat (Kolikkathara et al., 2010), digunakan untuk menentukan kebijakan pengelolaan sampah Sukuta Nema, Gambia, Afrika Barat (Kala et al., 2022), memprediksi timbulan sampah rumah tangga Kota Bau-Bau (Nurfatmala, dkk 2018), hingga digunakan untuk mengestimasi kuantitas dan kualitas limbah yang dilepaskan ke lingkungan berdasarkan kuantitas bahan baku dan parameter-parameter dalam sistem produksi industri lainnya pada periode waktu tertentu sehingga biaya produksi dan energi

nodelkan dalam beberapa kondisi sehingga produsen dapat mengamati model di berbagai nilai parameter dan kondisi. Hasil simulasi model dapat disajikan dalam format bentuk struktural, persamaan, grafis, dan

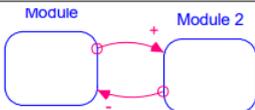


tabel, sehingga dapat dengan mudah untuk dianalisis dan dievaluasi untuk tujuan regulasi (Dolnicar, 1993).

Dalam membuat model pada software stella dimulai dengan menentukan *causal loop* diagram kemudian dikonversi menjadi *stock flow* diagram. Berikut komponen pembentuk *causal loop* diagram dan *stock flow* diagram:

a. *Causal Loop* Diagram

Tabel 6 Komponen pembentuk *causal loop*

Icon	Nama Komponen	Fungsi
	<i>Module</i>	Variabel-variabel yang dihubungkan di dalam <i>causal loop</i> dapat dimunculkan nilai ataupun hanya nama pada module
	<i>Connector</i>	Penghubung antar variabel dalam modul

b. *Stock Flow* Diagram

Tabel 7 Komponen pembentuk *Stock Flow* diagram

Icon	Nama Komponen	Fungsi
	<i>Converter</i>	Secara umum digunakan untuk mengubah input menjadi output, menyimpan konstanta, tempat mengisi input persamaan, melakukan kalkulasi dari berbagai input atau menyimpan data dalam bentuk grafik x dan y
	<i>Stock</i>	Menyimpan informasi berupa nilai suatu parameter hasil dari suatu akumulasi



Icon	Nama Komponen	Fungsi
	<i>Flow</i>	Menambah atau mengurangi stock. Arah anak panah <i>flow</i> menunjukkan arah aliran. Aliran dapat bekerja dalam satu arah maupun dua arah
	<i>Ghost</i>	Berfungsi untuk menduplikasi <i>converter</i> beserta data yang terisi
	<i>Dynamite</i>	Menghapus variabel atau <i>connector</i> yang tidak sesuai
	<i>Graphic</i>	Merepresentasikan data dalam bentuk grafik
	<i>Table</i>	Merepresentasikan data dalam bentuk tabel data

Sumber : Data Penulis, 2023

## 2.11 Penelitian Terdahulu

Tabel 8 Penelitian terdahulu terkait pengelolaan dan pengolahan sampah perkotaan menggunakan sistem dinamis

No	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil Penelitian
1	Mochammad Chaerul dan Ika Kartika (2021) Aplikasi Model Sistem	Mengaplikasikan sistem dinamis dalam mengevaluasi berbagai skenario pengelolaan sampah di Kota Depok, Kota	Stock Flow Diagram (SFD) dengan menggunakan perangkat lunak STELLA 9.1.3.	Terdapat 4 (empat) skenario pengelolaan sampah yang dikembangkan untuk mengantisipasi dioperasikannya TPPAS Nambo yaitu 1. Skenario <i>Business as Usual</i>



No	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil Penelitian
	Skenario Pengelolaan Sampah Di Wilayah Pelayanan Tempat Pengolahan Dan Pemrosesan Akhir Sampah (Tppas) Nambo	Bogor, Kota Tangerang Selatan, dan Kabupaten Bogor untuk mengantisipasi dioperasikannya TPPAS Nambo		<ol style="list-style-type: none"> <li>Optimalisasi kapasitas fasilitas pengolahan eksisting</li> <li>Kebijakan lokal sesuai rencana induk pengelolaan sampah (masterplan) di masing-masing kota/kabupaten</li> <li>Pengurangan sampah sesuai Jakstrada</li> </ol>
2	Muhammad Idris Yahya (2018). Model Dinamis Pengelolaan Sampah Kota Yang Bersumber Dari Rumah Tangga Di Kota Masamba Kabupaten	Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi timbulan, reduksi dan pembuangan akhir sampah yang berasal dari rumah tangga di Kota Masamba selama 25 Tahun kedepan (tahun 2018 – 2043)	Observasional analitik dengan desain <i>Cross Sectional</i> menggunakan model sistem dinamis STELLA	<p>Tingkat efektifitas skenario dalam mereduksi timbulan sampah di Kota Masamba</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Skenario simulasi pada kondisi eksisting, semakin meningkat</li> <li>Skenario Bank Sampah kemampuan reduksi sampah melalui Bank Sampah (optimis) sebesar 5,84% dari total timbulan sampah</li> <li>Simulasi skenario pengomposan selama 25 tahun diperoleh rata-rata kemampuan</li> </ol>



wu Utara

No	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil Penelitian
				reduksi sampah yang mencapai 64,20 % per tahun Simulasi gabungan kompos dan Bank Sampah menunjukkan bahwa timbulan sampah mengalami penurunan ketika skenario gabungan ini dijalankan.
3	Miranda Stevany Manik Ambarita (2019) Pemodelan Sistem Pengolahan Sampah di TPA (Tempat Pembuangan Akhir)Toba Samosir dalam stem namic	Mengetahui kebijakan yang paling ideal untuk diterapkan dalam menjawa target dinas terkait untuk mencapai pelayanan kebersihan secara optimal di seluruh kawasan Toba Samosir	Vensim (Ventana Systems) PLE X32	Skenario Moderator dengan program 3R, dengan lebih berfokus kepada target pemerintah dalam peningkatan pengangkutan persampahan di seluruh kawasan Toba Samosir,



No	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil Penelitian
4	Dika Rahayu Widiana dan Kemala Diaz Mahaarani (2019). Kajian Pengelolaan Limbah Padat Fasilitas Kesehatan Dengan Pendekatan Sistem dinamis	Menentukan kebijakan dan skenario sistem pengelolaan limbah padat fasilitas Kesehatan di Kota Ponorogo	Powersim 2.5 C	Pengelolaan limbah padat fasilitas kesehatan yang paling efektif dan efisien dilihat dari aspek biaya, teknis dan teknologi pengolahan, yaitu menggunakan insinerator terpusat dan memperbaharui sistem pengangkutan, pelatihan operator dan pengendalian lingkungan
5	Freta Natalia Salendu dan Yuswono Hadi (2018). Analisis dan Pemodelan Sistem Pengelolaan Sampah di Universitas MA CHUNG	Mengidentifikasi dan melakukan observasi faktor-faktor yang mempengaruhi kebijakan terkait sampah yang ada di universitas MA CHUNG, serta memodelkan sistem dan melakukan	<i>Software</i> Vensim	Besar timbulan sampah di Universitas MA CHUNG didominasi oleh sampah botol plastik, menggunakan pemodelan dinamik dihasilkan skenario yang dapat menekan laju timbulan sampah tersebut yaitu dengan menyediakan air siap minum di



No	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil Penelitian
		simulasi sistem untuk mengevaluasi skenario yang paling optimal untuk diterapkan		universitas dan usulan kedua adalah membawa tempat makan sendiri untuk membungkus makanan.
6	Kanchan Popli. (2017). <i>A Review of Solid Waste Management using System Dynamics Modeling</i>	Membantu dalam memahami praktik pengelolaan limbah padat saat ini menggunakan dinamika sistem.	Deskriptif analitik	Keterlibatan setiap model dapat diringkas menjadi tiga sistem yaitu: sistem pengelolaan limbah, sistem pembuangan limbah, dan sistem pembuangan limbah. Jalannya simulasi masing-masing model dinamika sistem pengelolaan persampahan telah berakhir dengan hasil yang berbeda sesuai dengan variabel yang digunakan di dalam model. Sistem dinamis adalah salah satu cara terbaik untuk menemukan hubungan kualitatif



No	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil Penelitian
				dan kuantitatif antara berbagai variabel pengelolaan sampah
7	Kaveri Kala, Nomessh B. Bolla dan Sushi (2022). <i>Analysis of informal waste dynamic modelling</i>	Memodelkan sektor pengelolaan sampah informal serta kebijakan untuk memfasilitasi perubahan yang diperlukan dalam sistem pengelolaan sampah.	STELLA Architec	Hasil analisis menyatakan adanya potensi sektor informal dan formal yang bekerja sama untuk memperluas kemampuan daur ulang untuk mencapai tujuan ekonomi sirkular
8	B Jassey, B Zaman and Syafrudin (2021). <i>Dynamic model of municipal solid waste management from households in Sukuta Nema, e Gambia</i>	Memperkirakan timbulan, pengurangan dan pembuangan sampah padat dari rumah tangga di Sukuta Nema, Gambia, dalam 25 tahun ke depan.	Stella 9.0.2	Hasil dari analisis pemodelan dinamis didapatkan alat pengelolaan limbah terbaik untuk menggunakan pengurangan limbah yang tidak efektif adalah skenario kombinasi.yaitu menggunakan Bank Sampah dan komposting.



No	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil Penelitian
9	Fatima Kausar and Shoaib Muhammad (2020). <i>Sustainable solid waste management in urban areas of Pakistan: A system dynamics based approach</i>	Mengembangkan model demonstrasi dan kebijakan sistem pengelolaan persampahan di Pakistan	Stella v9	Hasil simulasi menunjukkan bahwa strategi pembiayaan yang berbeda dapat memberikan dampak yang berbeda bagi konsumen dalam hal efisiensi penagihan dan beban keuangan, namun dalam pemodelan ini masih perlu dikembangkan dengan memasukkan semua kebijakan yang ada di Pakistan ke dalam model yang berkelanjutan.
10	Ajay Singh (2019). <i>Solid waste management through the applications of mathematical models</i>	Membandingkan empat factor pendekatan pengelolaan limbah yang paling berpengaruh menurunkan volume sampah yaitu insinerasi dan penimbunan	Stella	Hasil menunjukkan bahwa pendekatan terakhir memberikan solusi terbaik untuk pengelolaan sampah yang terdiri dari produksi kompos, penimbunan, dan menghentikan perilaku pembakaran sampah di lokasi terbuka.



No	Judul Penelitian	Tujuan	Metode	Hasil Penelitian
		tanah, bahan bakar turunan yang ditolak, pengolahan biologis dan mekanis, dan pemisahan sumber		

Sumber : Data Penulis, 2023

